

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Kenichi HIGUCHI**

Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **September 5, 2003**

For: **METHOD FOR ETCHING ORGANIC INSULATING FILM AND METHOD FOR  
FABRICATING SEMICONDUCTOR DEVICE**

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Date: September 5, 2003

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**Japanese Appln. No. 2002-274617, filed September 20, 2002**

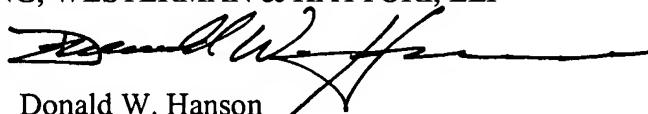
In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, WESTERMAN & HATTORI, LLP



Donald W. Hanson  
Attorney for Applicant  
Reg. No. 27,133

DWH/jaz  
Atty. Docket No. **031110**  
Suite 1000  
1725 K Street, N.W.  
Washington, D.C. 20006  
(202) 659-2930



**23850**

PATENT TRADEMARK OFFICE

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 9月20日

出願番号

Application Number:

特願2002-274617

[ST.10/C]:

[JP2002-274617]

出願人

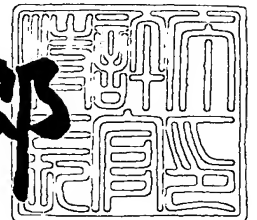
Applicant(s):

富士通株式会社

2003年 1月28日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3001990

【書類名】 特許願

【整理番号】 0241247

【提出日】 平成14年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明の名称】 有機系絶縁膜のエッチング方法及び半導体装置の製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県春日井市高蔵寺町二丁目 1 8 4 4 番 2 富士通ヴァイエエルエスアイ株式会社内

    【氏名】 樋口 賢一

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100087479

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 北野 好人

【選任した代理人】

    【識別番号】 100114915

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三村 治彦

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 003300

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0012600

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 有機系絶縁膜のエッチング方法及び半導体装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 有機系絶縁膜を有する被処理物が載置された第 1 の電極に第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を印加し、前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極に前記第 1 の周波数とは異なる第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法であって、

前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{pp}$  値が  $500\text{V}$  以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、前記プラズマが生成されるプラズマ処理室の圧力を、 $100\text{mTorr}$  以下に制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

$\text{NH}_3$ ガスの流量を  $50\text{sccm}$  以下に制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記有機系絶縁膜の断面加工形状を、前記第 2 の高周波電力により制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{dc}$  値と前記  $V_{pp}$  値との和が  $500\text{V}$  以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 6】 請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッ

チング方法において、

前記第 2 の高周波電力は、前記第 1 の高周波電力よりも大きい  
ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【請求項 7】 基板上に、有機系絶縁膜と無機系絶縁膜とを順次形成する工程と、

前記無機系絶縁膜をパターニングする工程と、

パターニングした前記無機系絶縁膜をマスクとして前記有機系絶縁膜をエッチングする工程とを有し、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記半導体基板を載置する第 1 の電極に第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を印加し、前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極に前記第 1 の周波数とは異なる第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法を用い、前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{pp}$  値が 500 V 以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 請求項 7 記載の半導体装置の製造方法において、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記プラズマが生成されるプラズマ処理室の圧力を、100 mTorr 以下に制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 請求項 7 又は 8 記載の半導体装置の製造方法において、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、 $\text{NH}_3$ ガスの流量を 50 sccm 以下に制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 10】 請求項 7 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法において、

前記基板は、表面側に銅を主体とする第 1 の配線層を有しており、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記第 1 の配線層が露出した状態で前記有機系絶縁膜をエッチングする

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、有機系絶縁膜のエッチング方法及び半導体装置の製造方法に係り、特に、ボーイングが少ない垂直加工形状を形成しうるとともにハードマスクの肩落ちが少ない有機絶縁膜のエッチング方法及びこのエッチング方法を用いた半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置の大規模高集積化に伴い、配線の設計ルールも世代と共に縮小化されている。従来、配線層は、配線材料を堆積した後、リソグラフィー及びドライエッチングを用いてパターンニングすることにより形成されてきたが、世代が進むにつれて技術的な限界が生じ始めている。このため、従来の配線層の形成プロセスに代わる新たな形成プロセスとして、層間絶縁膜に溝パターンやホールパターンを形成した後、この溝やホールに配線材料を埋め込む、いわゆるダマシンプロセスと呼ばれる手法が利用されつつある。ダマシンプロセスは、反応性エッチングが困難な銅などの低抵抗材料を用いて配線層を形成することも容易であり、微細パターンを有する低抵抗の配線層を形成するうえで極めて有効である。

【0003】

また、配線層の微細化に伴って配線間隔も狭まっており、層間絶縁膜を介して構成される寄生容量の増加が半導体装置の高速化を妨げる要因の一つともなっている。そこで、層間絶縁膜として、従来のシリコン酸化膜やシリコン窒化膜よりも誘電率の低い有機系絶縁材料（low-k材料）を用いることが検討されており、一部では既に実用化されている。なお、有機系絶縁材料としては、有機SOG材料である、ダウ・ケミカル社製の有機系ポリマーSiLK（登録商標）、ハネウェル社製の有機系ポリマーFLARE（登録商標）等が知られている。

【0004】

このような背景から、層間絶縁膜として有機系絶縁材料を用い、配線層として

この有機系絶縁膜に埋め込まれた銅を主体とする導電体を用いた半導体装置及びその製造方法に関し、種々の検討が行われている。

#### 【 0 0 0 5 】

有機系絶縁膜のエッチングは、シリコン酸化膜系の絶縁膜と比較すると、エッチング機構に未だ不明な点が多い。現状では、有機絶縁材料において垂直加工形状を得ようとした場合、側壁保護膜による加工制御が必須となる。上記 S i L K や F L A R E 等のように S i を含まない有機系絶縁材料では、従来のシリコン酸化膜のエッチングに用いられているフロロカーボン ( C F ) 系プラズマではなく、水素系のプラズマ (例えば  $H_2/N_2$  や  $NH_3$ ) が用いられることが多い。これらのガスを用いたエッチングでは、エッチング面に C N 系の側壁保護膜が形成されるため、断面加工形状を制御することが可能である。

#### 【 0 0 0 6 】

一方、次世代の微細デバイスにおけるエッチングプロセスに好適なエッチング装置として、平行平板型二周波励起エッチング装置が注目されている。平行平板型二周波励起エッチング装置は、ウェーハを支持する下部電極と、下部電極に対向する上部電極とに、それぞれ異なる周波数の高周波を印加してプラズマを励起し、エッチングを行うエッチング装置である。平行平板型二周波励起エッチング装置は、従来にない低い圧力で高速かつ均一性の良好なエッチングが可能であり、且つチャージアップダメージが少ないという特徴がある。また、プラズマ生成効率が高く、従来のエッチング装置と比較して高いエッチング速度を得ることができる。なお、平行平板型二周波励起エッチング装置を用いた有機系絶縁膜のエッチングに関しては、例えば特許文献 1 に記載されている。

#### 【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】 特開 2 0 0 1 - 1 1 0 7 8 4 号公報

#### 【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

平行平板型二周波励起エッチング装置を用いた有機系絶縁膜のエッチングにおける課題として、ボーイングとハードマスクの肩落ちが挙げられる。ボーイングとは、ホール中程においてサイドエッチングが生じてホール径が広がる現象をい



う。ハードマスクの肩落ちとは、有機系絶縁膜のエッチングの際に用いるハードマスクのパターン端部が削れる現象をいう。

【0009】

平行平板型二周波励起エッチング装置を用いて有機系絶縁膜をエッチングする場合、 $N_2/H_2$ ガス系を用いたエッチングプロセスでは、ボーイング形状は発生しないが、ハードマスクの肩落ち量が多い。一方、 $NH_3$ ガス系を用いたエッチングプロセスでは、ハードマスクの肩落ち量は小さいが、ボーイング形状となりやすい。

【0010】

図21は、シリコン酸化膜上にSiLK膜及びシリコン酸化膜が形成された試料において、上層のシリコン酸化膜をハードマスクとしてSiLK膜をエッチングした場合における断面加工形状を走査型電子顕微鏡により撮影した結果を示す図である。図21(a)は $N_2/H_2$ ガス系を用いてエッチングを行った試料であり、図21(b)は $NH_3$ ガス系を用いてエッチングを行った試料である。

【0011】

図21(a)に示すように、 $N_2/H_2$ ガス系を用いてエッチングした試料では、ハードマスクとして用いたシリコン酸化膜の角部が削れており、肩落ちが生じていることが判る。また、図21(b)に示すように、 $NH_3$ ガス系を用いてエッチングした試料では、ハードマスクとして用いたシリコン酸化膜の下部領域までSiLK膜がエッチングされており、ボーイングが生じていることが判る。

【0012】

また、一般的に、エッチングにより垂直加工形状を形成しようとした場合、バイアス電力を高くしてイオンエネルギーを高めることによりウェーハへの入射角度を垂直方向にする必要があるが、バイアス電力が高いほどにハードマスクの肩落ち量は大きくなる。他方、ハードマスクの肩落ち量が少なくなるようなエッチング条件を適用すると、等方的なエッチング成分が多くなり、ボーイング量が大きくなる。

【0013】

このように、有機系絶縁膜のエッチングプロセスにおいて、ボーイング量とハ

ードマスクの肩落ち量とはトレードオフの関係にあり、これらを両立することは困難であった。

【 0 0 1 4 】

本発明の目的は、ボーイングが少ない垂直加工形状を形成しうるとともにハードマスクの肩落ちが少ない有機絶縁膜のエッチング方法及びこのエッチング方法を用いた半導体装置の製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 5 】

【課題を解決するための手段】

上記目的は、有機系絶縁膜を有する被処理物が載置された第 1 の電極に第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を印加し、前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極に前記第 1 の周波数とは異なる第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法であって、前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{pp}$  値が 500 V 以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御することを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法によって達成される。

【 0 0 1 6 】

また、上記目的は、基板上に、有機系絶縁膜と無機系絶縁膜とを順次形成する工程と、前記無機系絶縁膜をパターニングする工程と、パターニングした前記無機系絶縁膜をマスクとして前記有機系絶縁膜をエッチングする工程とを有し、前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記半導体基板を載置する第 1 の電極に第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を印加し、前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極に前記第 1 の周波数とは異なる第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法を用い、前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{pp}$  値が 500 V 以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御することを特徴とする半導体装置の製造方法によっても達成される。

【 0 0 1 7 】

## 【発明の実施の形態】

## 〔第 1 実施形態〕

本発明の第 1 実施形態による有機系絶縁膜のエッチング方法について、図 1 乃至図 1 5 を用いて説明する。

## 【0 0 1 8】

図 1 は平行平板型二周波励起エッチング装置の構造を示す概略図、図 2 は検討に用いた試料の構造を示す概略断面図、図 3 はボーイング量及びハードマスクの肩落ち量のエッチングガス依存性を示すグラフ、図 4 は  $\text{NH}_3$  ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフ、図 5 は  $\text{N}_2/\text{H}_2$  ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフ、図 6 は  $\text{NH}_3$  プラズマの発光分析結果を示すグラフ、図 7 は  $\text{N}_2/\text{H}_2$  プラズマの発光分析結果を示すグラフ、図 8 はエッチングレートとプラズマ処理室内の圧力との関係を示すグラフ、図 9 はエッチングレート、面内均一性及び  $V_{pp}$  電圧の  $\text{NH}_3$  流量依存性を示すグラフ、図 1 0 は  $V_{pp}$  電圧の印加電力依存性を示すグラフ、図 1 1 は  $V_{pp}$  電圧の電極間隔依存性を示すグラフ、図 1 2 はボーイング量及びハードマスクの肩落ち量の  $V_{pp}$  電圧依存性を示すグラフ、図 1 3 は本実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法における  $\text{NH}_3$  プラズマの発光分析結果を示すグラフ、図 1 4 はエッチングレート、面内均一性及び  $V_{pp}$  電圧の上部電極に印加する電力依存性を示すグラフ、図 1 5 は上部電極に印加する電力の断面加工形状への影響を示す図である。

## 【0 0 1 9】

はじめに、平行平板型二周波励起エッチング装置について図 1 を用いて説明する。

## 【0 0 2 0】

プラズマ処理室 1 0 内には、下部電極 1 2 と、下部電極 1 2 に対向する上部電極 1 4 とが設けられている。下部電極 1 2 には、高周波電源 1 6 及び低周波フィルタ 1 8 が接続されており、低周波フィルタ 1 8 の透過帯域に応じた高周波、例えば 2 MHz の高周波を下部電極 1 2 に印加できるようになっている。下部電極 1 2 上には、被処理物であるウェーハ 2 0 が載置できるようになっている。上部

電極 1 4 には、高周波電源 2 2 及び高周波フィルタ 2 4 が接続されており、高周波フィルタ 2 4 の透過帯域に応じた高周波、例えば 6 0 M H z の高周波を上部電極 1 4 に印加できるようになっている。上部電極 1 4 は、エッチングガスをプラズマ処理室 1 0 内に導入するシャワーヘッドを兼ねており、ガス導入配管 2 6 を介してプラズマ処理室 1 0 内にエッチングガスを導入できるようになっている。また、プラズマ処理室 1 0 には、排気配管 2 8 が設けられている。

#### 【 0 0 2 1 】

次に、本実施形態による有機絶縁材料のエッチング方法の概略について図 1 を用いて説明する。

#### 【 0 0 2 2 】

まず、下部電極 1 2 上に被処理物であるウェーハ 2 0 を載置した後、排気配管 2 8 に接続された真空ポンプ（図示せず）により、プラズマ処理室 1 0 内を減圧する。

#### 【 0 0 2 3 】

次いで、ガス導入配管 2 6 より、エッチングに用いるガスを導入するとともに、排気配管 2 8 からの排気量を制御し、プラズマ処理室 1 0 内を所定値まで減圧する。このとき、エッチャントである  $\text{NH}_3$  の流量を 5 0 s c c m 以下、例えば 4 0 s c c m に設定するとともに、プラズマ処理室 1 0 内の圧力を 1 0 0 m T o r r 以下、例えば 5 0 m T o r r に設定する。

#### 【 0 0 2 4 】

なお、 $\text{NH}_3$  に  $\text{N}_2$  ガスを添加するようにしてもよい。 $\text{N}_2$  ガスを添加した場合、側壁保護の影響をより強くすることができる。側壁保護の影響に関しては後述する。

#### 【 0 0 2 5 】

次いで、高周波電源 1 6 により、下部電極 1 2 に例えば 2 M H z の高周波を印加する。また、高周波電源 2 2 により、上部電極 1 4 に例えば 6 0 M H z の高周波を印加する。これにより、上部電極 1 2 と下部電極 1 4 との間に、プラズマを生成する。

#### 【 0 0 2 6 】

なお、下部電極 1 2 に印加する電力は例えば 2 0 0 W とし、上部電極 1 4 に印加する電力は例えば 1 6 0 0 W とし、電極間隔は例えば 3 0 mm とする。これら条件は、 $V_{pp}$  電圧が 5 0 0 V 以下になるように設定する。ここで、本明細書にいう  $V_{pp}$  電圧或いは  $V_{pp}$  値とは、下部電極 1 2 に印加される高周波電圧の最大値と最小値との間の電圧差を表す電圧値であり、ピークツーピーク (Peak to Peak) 電圧と呼ばれるものである。上記条件に設定した場合、 $V_{pp}$  電圧は 4 5 4 V となる。

## 【 0 0 2 7 】

この状態でウェーハ 2 0 に形成された有機絶縁膜をエッチングすることにより、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、垂直な加工形状を形成することができる。

## 【 0 0 2 8 】

このように、本実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法は、平行平板型二周波励起エッチング装置による  $NH_3$  ガス系を用いたエッチングにおいて、 $V_{pp}$  電圧を 5 0 0 V 以下に、 $NH_3$  流量を 5 0 s c c m 以下に、プラズマ処理室内の圧力を 1 0 0 m T o r r 以下に、それぞれ設定することに主たる特徴がある。このようにしてエッチング条件を制御することにより、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、有機絶縁材料を垂直に加工することができる。

## 【 0 0 2 9 】

なお、 $V_{pp}$  電圧、 $NH_3$  流量、プラズマ処理室の圧力は、小さくなるほどにエッチングレートが遅くなる。したがって、これらパラメータの下限值については、必要とされるエッチングレートに応じて適宜制御することが望ましい。

## 【 0 0 3 0 】

また、導入するガスが希薄になるにつれ、放電の安定性が損なわれてプラズマが生成しにくくなる。また、電極間のインピーダンスがチャンバ排気速度のばらつきに敏感になる。したがって、 $NH_3$  流量及びプラズマ処理室の圧力の下限値は、エッチングレートの制約のほか装置排気能力に依存して決定される一面もある。

## 【 0 0 3 1 】

次に、エッチング条件を上記のように設定する理由について、本願発明者による検討結果を参照しつつ説明する。なお、以下に示す検討には、図2に示すように、シリコン酸化膜48上に、膜厚150nmのSiLKよりなる有機絶縁膜50と、ハードマスクとしての膜厚250nmのシリコン酸化膜52と、反射防止膜としての膜厚250nmのBARC膜56と、膜厚133nmのフォトレジスト膜58とが形成された試料を用い、パターニングされたシリコン酸化膜52、BARC膜56及びフォトレジスト膜58をマスクとして有機絶縁膜50のエッチングを行った際のものである。

#### 【0032】

はじめに、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量とエッチングガスとの関係について図3を用いて説明する。図3は、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量のエッチングガス依存性を示すグラフである。

#### 【0033】

図3に示すように、エッチングガスに $N_2/H_2$ ガス系を用いた場合と、 $NH_3$ ガス系を用いた場合とでは、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量に異なる傾向が見られる。すなわち、 $N_2/H_2$ ガス系を用いたエッチングプロセスでは、ボーイングは発生しないが、ハードマスクの肩落ち量が多い。一方、 $NH_3$ ガス系を用いたエッチングプロセスでは、ハードマスクの肩落ち量は小さいが、ボーイング量が多い。

#### 【0034】

図4(a)は $NH_3$ ガス系を用いた場合における有機絶縁膜のエッチング深さ及びフォトレジスト膜の膜厚のエッチング時間依存性を示すグラフである。また、図4(b)は $NH_3$ ガス系を用いた場合におけるボーイング量及びハードマスクの肩落ち量のエッチング時間依存性を示すグラフである。

#### 【0035】

図5(a)は $N_2/H_2$ ガス系を用いた場合における有機絶縁膜のエッチング深さ及びフォトレジスト膜の膜厚のエッチング時間依存性を示すグラフである。また、図5(b)は $N_2/H_2$ ガス系を用いた場合におけるボーイング量及びハードマスクの肩落ち量のエッチング時間依存性を示すグラフである。

## 【0036】

図4に示すように、 $\text{NH}_3$ ガス系を用いた場合、有機絶縁膜のボーイングは、フォトリソ膜がすべて除去された時点から生じている。これは、フォトリソ膜が存在するうちは、フォトリソ膜から生成されるCN系の堆積物が側壁保護膜と機能するためと考えられる。また、ハードマスクの肩落ちも、フォトリソ膜がすべて除去された時点からハードマスクの肩落ちが生じている。

## 【0037】

一方、図5に示すように、 $\text{N}_2/\text{H}_2$ ガス系を用いた場合、ボーイングは生じないが、フォトリソ膜がすべて除去された時点からハードマスクの肩落ちが生じていることが判る。

## 【0038】

上述した $\text{NH}_3$ ガス系と $\text{N}_2/\text{H}_2$ ガス系とにおけるエッチング形態の相違点を明らかにするために、各ガス系を用いた場合のプラズマについて発光分析を行った。その結果を図6及び図7に示す。図6は $\text{NH}_3$ プラズマの発光分析結果を示すグラフである。図7は $\text{N}_2/\text{H}_2$ プラズマの発光分析結果を示すグラフである。なお、各図において、実線がエッチング初期における状態を示し、点線がエッチング終期における状態を示している。

## 【0039】

各図において有機絶縁膜の側壁保護膜として作用するCNの波長（785 nm）と、有機絶縁膜を等方的にエッチングするHの波長（486 nm）に着目すると、エッチング初期ではフォトリソ膜が存在することにより、 $\text{NH}_3$ プラズマ及び $\text{N}_2/\text{H}_2$ プラズマの双方において、CNの存在が確認できる。また、エッチング終期では、フォトリソ膜が除去されているため、CNの発光がなくなり、Hの発光が強くなる。

## 【0040】

ここで、CNは側壁保護膜となるため、CNが多いほどボーイングが小さいと考えられる。また、Hは等方的なエッチングに寄与するため、Hが少ないほどボーイングが小さいと考えられる。かかる観点からCNの量とHの量とを考えると、（エッチング初期のCNの量）／（エッチング終期のHの量）の比（以下、C

N/H比という) が大きいほどに、ボーイング量が小さいと考えられる。

#### 【 0 0 4 1 】

図 6 のグラフにおいてCN/H比は約 0. 1 6、図 7 のグラフにおいてCN/H比は約 0. 6 5 5 であり、すなわちNH<sub>3</sub>プラズマのCN/H比よりもN<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>プラズマのCN/Hの方が大きくなっており、上記仮定が裏付けられる。したがって、CN/H比を小さくできれば、NH<sub>3</sub>プラズマにおいてもボーイング量を低減しうると考えられる。

#### 【 0 0 4 2 】

次に、NH<sub>3</sub>ガス系を用いた場合において、CN/H比を小さくしうるエッチング条件について種々の検討を行った。

#### 【 0 0 4 3 】

はじめに、エッチングレート及びV<sub>p p</sub>電圧とプラズマ処理室 1 0 内の圧力との関係を示す。図 8 は、エッチングレートとプラズマ処理室 1 0 内の圧力との関係を示すグラフである。なお、図 8 (a) は、下部電極 1 2 に印加する高周波電力のパワーを 2 0 0 W、上部電極に印加する高周波電力のパワーを 2 0 0 0 W、電極間隔を 3 0 mmとした場合を示している。図 8 (b) は、下部電極 1 2 に印加する高周波電力のパワーを 7 0 0 W、上部電極に印加する高周波電力のパワーを 1 0 0 0 W、電極間隔を 4 5 mmとした場合を示している。図 8 (c) は、下部電極 1 2 に印加する高周波電力のパワーを 1 0 0 0 W、上部電極に印加する高周波電力のパワーを 2 0 0 W、電極間隔を 4 5 mmとした場合を示している。N H<sub>3</sub>の流量 (3 0 0 s c c m) 及び基板温度 (3 0 ℃) は、各条件において共通である。また、各図において、実線はエッチングレートを示し、一点鎖線はV<sub>p p</sub>電圧を示している。

#### 【 0 0 4 4 】

図 8 (c) に示すように、下部電極 1 2 に印加する電力が上部電極 1 4 に印加する電力よりも十分に大きい場合には、プラズマ処理室 1 0 内の圧力を下げるほどにエッチングレートは低下する。また、V<sub>p p</sub>電圧は、プラズマ処理室 1 0 内の圧力を下げるほどに増加する。

#### 【 0 0 4 5 】



図 8 (b) に示すように、下部電極 1 2 に印加する電力を上部電極 1 4 に印加する電力よりも僅かに大きいときは、エッチングレート及び  $V_{pp}$  電圧のプラズマ処理室 1 0 内の圧力に対する依存性は小さくなる。

## 【 0 0 4 6 】

これに対し、図 8 (a) に示すように、上部電極 1 4 に印加する電力が下部電極 1 2 に印加する電力よりも十分に大きい場合には、プラズマ処理室 1 0 内の圧力を下げるほどにエッチングレートは増加する。また、 $V_{pp}$  電圧は、プラズマ処理室 1 0 内の圧力を下げるほどに低下する。

## 【 0 0 4 7 】

プラズマ処理室 1 0 内の圧力を下げることにより、イオンの散乱は小さくなり、入射角度はより垂直方向となる。このため、垂直な加工形状を得ることが可能となる。また、 $V_{pp}$  電圧を下げることにより、低入射エネルギーでのエッチングが可能となり、ハードマスクの肩落ち量を低減することができる。したがって、上部電極 1 4 に印加する電力を下部電極 1 2 に印加する電力よりも大きくすることは、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減するうえで効果的であると考えられる。

## 【 0 0 4 8 】

図 9 は、エッチングレート、面内均一性及び  $V_{pp}$  電圧の  $NH_3$  流量依存性を示すグラフである。なお、図 9 (a) はエッチングレート及び面内均一性の  $NH_3$  流量依存性を示すグラフ、図 9 (b) は、エッチングレート及び  $V_{pp}$  電圧の  $NH_3$  流量依存性を示すグラフである。なお、下部電極 1 2 に印加する高周波電力のパワーは 2 0 0 W、上部電極に印加する高周波電力のパワーは 2 0 0 0 W、成膜室の圧力は 5 0 mT o r r、電極間隔は 3 0 m m、基板温度は 3 0 °C とした。また、図 9 (a) において、実線はエッチングレートを示し、一点鎖線は面内均一性を示している。また、図 9 (b) において、実線はエッチングレートを示し、一点鎖線は  $V_{pp}$  電圧を示している。

## 【 0 0 4 9 】

図 9 (a) に示すように、 $NH_3$  の流量を低下することにより、面内均一性は大幅に向上する。上部電極 1 4 に印加する電力が高く処理圧力が低い条件下では

プラズマ分布が不均一となることが懸念されるが、 $\text{NH}_3$ の流量を低下することにより面内均一性を飛躍的に向上することができる。

## 【 0 0 5 0 】

エッチャントである $\text{NH}_3$ の流量を低下することは、エッチングレートが低下することを意味する。しかしながら、図 9 (a) に示すように、 $\text{NH}_3$ 流量を 3 0 0 s c c m から 5 0 s c c m 下げたことに伴うエッチングレートの低下はおおよそ 1 割程度であり、上述の面内均一性向上の効果に鑑みれば、エッチングレートへの影響は十分に小さいといえる。

## 【 0 0 5 1 】

また、図 9 (b) に示すように、 $\text{NH}_3$ 流量の低下に伴う  $V_{pp}$  電圧の変動は小さい。また、 $\text{NH}_3$ 流量を低下することにより生成されるイオン数が少なくなり、ハードマスクの肩落ち量を小さくすることができる。

## 【 0 0 5 2 】

したがって、 $\text{NH}_3$ 流量を低下することにより、上述した上部電極 1 4 に印加する電力を下部電極 1 2 に印加する電力よりも大きくする効果を維持しつつ、面内分布の均一性を向上することができる。

## 【 0 0 5 3 】

図 1 0 は、 $V_{pp}$  電圧の印加電力依存性を示すグラフである。横軸は、下部電極 1 2 に印加する電力 [W] / 上部電力 1 4 に印加する電力 [W] を示している。なお、 $\text{NH}_3$ の流量を 3 0 0 s c c m、電極間隔を 3 0 m m とした。

## 【 0 0 5 4 】

図 1 1 は、 $V_{pp}$  電圧の電極間隔依存性を示すグラフである。なお、下部電極に印加する電力を 2 0 0 W、上部電極に印加する電力を 2 0 0 0 W、 $\text{NH}_3$ の流量を 3 0 0 s c c m とした。

## 【 0 0 5 5 】

図 1 0 及び図 1 1 に示すように、 $V_{pp}$  電圧は、下部電極 1 2 及び上部電極 1 4 に印加する電力、電極間隔等に依存する。これは、 $V_{pp}$  電圧が、プラズマ処理室 1 0 内におけるプラズマ等のインピーダンスにより左右されるためである。補足すると、電極間隔を狭めるとプラズマはより解離し、 $V_{pp}$  電圧は下がる。

この現象は、上部電極に印加する電力を高くしてプラズマをより解離した状態と似た現象となる。したがって、 $V_{pp}$  電圧を規定することにより、そのプロセス領域は必然的に決定されることとなる。

## 【0056】

図12は、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量の $V_{pp}$  電圧依存性を示すグラフである。なお、測定した試料の作成に際し、エッチング条件は、下部電極に印加する電力を200W、上部電極に印加する電力を1600W、 $NH_3$  流量を40 s c c m、プラズマ処理室の圧力を50 mT o r rとした。このときの $V_{pp}$  電圧は454 Vである。

## 【0057】

また、図12に示すボーイング量の値は、ハードマスクの端部から測定した有機絶縁膜の横方向へのエッチング量である。また、ハードマスクの肩落ち量の値は、図21(a)に矢印で示すように、ハードマスクの端部から測定したハードマスクのエッチング領域の幅である。

## 【0058】

図12に示すように、 $V_{pp}$  電圧を500 V程度以下に抑えることにより、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を大幅に低減することができる。

## 【0059】

上述したように、上部電極に印加する電力及び下部電極に印加する電力、電極間隔、プラズマ処理室の圧力は、 $V_{pp}$  電圧に反映される。このため、 $V_{pp}$  電圧値を定義することにより、そのプロセス領域は決定される。また、 $V_{pp}$  電圧が低くなる条件において、プラズマ処理室内の圧力を下げることは形状制御に大きく作用する。また、 $NH_3$  流量を下げることは面内均一性に大きく作用し、ハードマスクの肩落ち量を低減するうえで効果的である。具体的には、 $V_{pp}$  電圧を500 V程度以下に、プラズマ処理室内の圧力を100 mT o r r以下に、 $NH_3$  流量を50 s c c m以下に設定することが望ましい。

## 【0060】

図13は、下部電極に印加する電力を200W、上部電極に印加する電力を1600W、 $NH_3$  流量を40 s c c m、プラズマ処理室の圧力を50 mT o r r

とした場合における $\text{NH}_3$ プラズマの発光分析結果を示すグラフである。

【0061】

図示するように、 $\text{NH}_3$ 系ガスにおいても、 $V_{pp}$ 電圧を500V程度以下に、プラズマ処理室内の圧力を100mTorr以下に、 $\text{NH}_3$ 流量を50sccm以下に設定することにより、 $\text{CN}/\text{H}$ 比は3.9となり、 $\text{N}_2/\text{H}_2$ プラズマの場合と比較しても極めて大きな値を得ることができた。この結果からも、図12においてボーイング量を低減する効果を裏付けることができる。

【0062】

図14は、エッチングレート、面内均一性及び $V_{pp}$ 電圧の上部電極に印加する電力依存性を示すグラフである。図14(a)はエッチングレート及び面内均一性の依存性を示すグラフ、図14(b)はエッチングレート及び $V_{pp}$ 電圧の依存性を示すグラフである。

【0063】

図15は、上部電極に印加する電力の断面加工形状への影響を示す図である。図15(a)は図14において上部電極に印加する電力を1200Wとした場合、図15(b)は図14において上部電極に印加する電力を1600Wとした場合、図15(c)は図14において上部電極に印加する電力を2000Wとした場合である。

【0064】

なお、図14及び図15の試料では、他のエッチング条件は、下部電極に印加する電力を200W、電極間隔を30mm、 $\text{NH}_3$ 流量を50sccm、プラズマ処理室内の圧力を50mTorr、基板温度を30℃とした。

【0065】

図14に示すように、上部電極に印加する電力の値は、エッチングレートには影響を与えるが、面内均一性及び $V_{pp}$ 電圧には大きく影響しない。つまり、ボーイング及びハードマスクの肩落ちに与える影響は小さい。

【0066】

これに対し、図15に示すように、上部電極に印加する電力の値は断面加工形状に影響し、電力値が大きいほどに順テーパ形状となる傾向にある。なお、図示

する例では、図 1 5 ( a ) 及び図 1 5 ( b ) ではほぼ垂直形状であり、図 1 5 ( c ) では順テーパ形状であった。

【 0 0 6 7 】

図 1 4 及び図 1 5 の結果から、上部電極に印加する電力の値を制御することにより、ボーイング及びハードマスクの肩落ち量を抑えつつ、断面加工形状の制御をも行うことができる。

【 0 0 6 8 】

このように、本実施形態によれば、 $\text{NH}_3$ ガス系を用いた平行平板型二周波励起エッチング装置における有機系絶縁膜のエッチングにおいて、 $V_{pp}$  電圧を 500 V 以下に、 $\text{NH}_3$  流量を 50 s c c m 以下に、プラズマ処理室内の圧力を 100 m T o r r 以下に、それぞれ設定するので、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、有機絶縁材料を垂直に加工することができる。

【 0 0 6 9 】

なお、上記実施形態では、下部電極に印加する高周波として 2 M H z という比較的低い周波数を用い、 $V_{pp}$  電圧を 500 V 以下に設定しているが、より高周波の電源を用いた場合には、 $V_{dc}$  電圧の影響を無視できなくなる。このような場合には、 $V_{pp} + V_{dc}$  の値が、本実施形態における  $V_{pp}$  電圧の値と同等の意味を持つことになる。

【 0 0 7 0 】

〔第 2 実施形態〕

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法について図 1 6 乃至図 2 0 を用いて説明する。

【 0 0 7 1 】

図 1 6 乃至図 2 0 は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、デュアルダマシン構造の配線層を有する半導体装置の製造方法に、第 1 実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法を適用する場合について説明する。なお、第 1 実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法は、有機絶縁

膜のエッチング工程を有する半導体装置の製造方法に広く適用できるものであり、本実施形態に示す半導体装置の構造への適用に限定されるものではない。

【 0 0 7 3 】

まず、下地基板 3 0 上に、例えばプラズマ C V D 法により、例えば膜厚 2 8 0 n m のシリコン酸化膜 3 2 を形成する。なお、本明細書にいう下地基板 1 0 とは、半導体基板そのもののみならず、トランジスタその他の素子や配線層が形成された半導体基板をも含むものである。

【 0 0 7 4 】

次いで、シリコン酸化膜 3 2 上に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚 1 0 0 n m の有機絶縁膜 3 4 を形成する。有機絶縁膜 3 4 としては、例えばダウ・ケミカル社製の S i L K を用いることができる。なお、S i L K の代わりに、ハネウェル社製の F L A R E 等を用いてもよい。また、炭化水素含有樹脂、弗素含有樹脂、シリコンオキシカーバイドなどの他の有機系絶縁材料を用いてもよい。また、これら有機系絶縁材料を任意に組み合わせた積層膜を用いてもよい。

【 0 0 7 5 】

次いで、有機絶縁膜 3 4 上に、例えばプラズマ C V D 法により、例えば膜厚 1 5 0 n m のシリコン酸化膜 3 6 を形成する。

【 0 0 7 6 】

次いで、フォトリソグラフィーにより、シリコン酸化膜 3 6 上に、配線溝の形成予定領域を露出するフォトレジスト膜（図示せず）を形成する。

【 0 0 7 7 】

次いで、このフォトレジスト膜をマスクとして、シリコン酸化膜 3 6 及び有機絶縁膜 3 4 を異方性エッチングし、シリコン酸化膜 3 6 及び有機絶縁膜 3 4 に配線溝 3 8 を形成する。

【 0 0 7 8 】

なお、シリコン酸化膜 3 6 のエッチングには、C F 系のエッチングガスを用いた通常のプラズマエッチングを用いることができる。

【 0 0 7 9 】

また、有機絶縁膜 3 4 のエッチングには、第 1 実施形態による有機絶縁膜のエ

ッチング方法を用いることができる。例えば、下部電極に印加する電力を200 W、上部電極に印加する電力を1600 W、 $\text{NH}_3$ 流量を40 sccm、プラズマ処理室内の圧力を50 mTorr、電極間隔を30 mm、基板温度を30℃とすることにより、ボーイング及びハードマスクとしてのシリコン酸化膜36の肩落ちを防止しつつ、有機絶縁膜34をエッチングすることができる。

## 【0080】

こうして、有機絶縁膜34及びシリコン酸化膜36よりなる層間絶縁膜に、配線溝38を形成する(図16(a))。

## 【0081】

なお、有機絶縁膜34のエッチングと同時に、シリコン酸化膜36のエッチングマスクとして用いたフォトリソ膜は除去される。

## 【0082】

次いで、全面に、例えばスパッタ法により、例えば膜厚15 nmの窒化チタン膜を堆積し、窒化チタン膜よりなるバリアメタル層40を形成する。なお、窒化チタン膜の代わりに、バリアメタルとして機能する他の導電膜、例えば窒化タンタル膜を用いてもよい。

## 【0083】

次いで、バリアメタル層40上に、例えばスパッタ法により、例えば膜厚130 nmの銅(Cu)膜を堆積する。次いで、この銅膜をシードとして電解メッキ法により更に銅膜を堆積し、トータル膜厚が例えば970 nm程度の銅膜42を形成する。

## 【0084】

次いで、例えばCMP法により、シリコン酸化膜36の表面が露出するまで銅膜42及びバリアメタル層40を平坦に除去し、配線溝38内に埋め込まれ、銅膜42及びバリアメタル層40よりなる配線層44を形成する(図16(b))。

## 【0085】

次いで、配線層44が埋め込まれたシリコン酸化膜36上に、例えばプラズマCVD法により、例えば膜厚70 nmのシリコン窒化膜46と、例えば膜厚28

0 nmのシリコン酸化膜48とを形成する。

【0086】

次いで、シリコン酸化膜48上に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚150 nmとなるようにSiLKを塗布し、SiLKよりなる有機絶縁膜50を形成する。なお、SiLKの代わりに、FLARE等を用いてもよい。また、炭化水素含有樹脂、弗素含有樹脂、シリコンオキシカーバイドなどの他の有機系絶縁材料を用いてもよい。また、これら有機系絶縁材料を任意に組み合わせた積層膜を用いてもよい。

【0087】

次いで、有機絶縁膜50上に、例えばプラズマCVD法により、例えば膜厚250 nmのシリコン酸化膜52と、例えば膜厚100 nmのシリコン窒化膜54とを形成する。

【0088】

次いで、フォトリソグラフィー及びドライエッチングによりシリコン窒化膜54をパターニングし、有機絶縁膜50及びシリコン酸化膜52に形成される配線溝の形成予定領域のシリコン窒化膜54を除去する(図16(c))。

【0089】

次いで、例えばスピンコート法により、シリコン酸化膜52及びシリコン窒化膜54上に、例えば膜厚140 nmの有機系の反射防止(BARC: Bottom Anti-Reflective Coat)膜56を形成する。

【0090】

次いで、フォトリソグラフィーにより、反射防止膜56上に、シリコン窒化膜46及びシリコン酸化膜48に形成されるビアホールの形成予定領域を露出するフォトレジスト膜58を形成する(図17(a))。

【0091】

次いで、ドライエッチングにより、フォトレジスト膜58をマスクとして及びシリコン酸化膜52をストッパとして反射防止膜56を異方性エッチングし、ビアホール形成予定領域の反射防止膜56を除去する(図17(b))。

【0092】



次いで、ドライエッチングにより、フォトレジスト膜 5 8 をマスクとして及び有機絶縁膜 5 0 をストッパとしてシリコン酸化膜 5 2 を異方性エッチングし、ビアホール形成予定領域のシリコン酸化膜 5 2 を除去する（図 1 8（a））。

## 【 0 0 9 3 】

次いで、ドライエッチングにより、フォトレジスト膜 5 8 をマスクとして及びシリコン酸化膜 4 8 をストッパとして有機絶縁膜 5 0 を異方性エッチングし、ビアホール形成予定領域の有機絶縁膜 5 0 を除去する。

## 【 0 0 9 4 】

有機絶縁膜 5 0 のエッチングには、第 1 実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法を用いることができる。例えば、下部電極に印加する電力を 2 0 0 W、上部電極に印加する電力を 1 6 0 0 W、 $\text{NH}_3$  流量を 4 0 s c c m、プラズマ処理室内の圧力を 5 0 m T o r r、電極間隔を 3 0 m m、基板温度を 3 0 °C とすることにより、ボーイング及びハードマスクとしてのシリコン酸化膜 5 2 の肩落ちを防止しつつ、有機絶縁膜 5 0 をエッチングすることができる。

## 【 0 0 9 5 】

なお、有機絶縁膜 5 0 のエッチングと同時に、シリコン酸化膜 3 6 のエッチングマスクとして用いたフォトレジスト膜 5 8 及び反射防止膜は除去される（図 1 8（b））。

## 【 0 0 9 6 】

次いで、シリコン窒化膜 5 4 をマスクとして及びシリコン窒化膜 4 6 をストッパとしてシリコン酸化膜 4 8、5 2 をエッチングし、ビアホール形成予定領域のシリコン酸化膜 4 8 及び配線溝形成予定領域のシリコン酸化膜 5 2 を除去する（図 1 9（a））。

## 【 0 0 9 7 】

次いで、有機絶縁膜 5 0 をマスクとして及びシリコン酸化膜 5 2 をストッパとしてシリコン窒化膜 4 6、5 4 を異方性エッチングし、シリコン窒化膜 4 6 及びシリコン酸化膜 4 8 に配線層 4 4 を露出するビアホール 6 0 を形成する（図 1 9（b））。

## 【 0 0 9 8 】

次いで、シリコン酸化膜 5 2 をマスクとして及びシリコン酸化膜 4 6 をストップパとして有機絶縁膜 5 0 を異方性エッチングし、有機絶縁膜 5 0 及びシリコン酸化膜 5 2 にビアホール 6 0 に接続する配線溝 6 2 を形成する（図 2 0 (a)）。

#### 【 0 0 9 9 】

有機絶縁膜 5 0 のエッチングには、第 1 実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法を用いることができる。例えば、下部電極に印加する電力を 2 0 0 W、上部電極に印加する電力を 1 6 0 0 W、 $\text{NH}_3$  流量を 4 0 s c c m、プラズマ処理室内の圧力を 5 0 m T o r r、電極間隔を 3 0 m m、基板温度を 3 0 °C とすることにより、ボーイング及びハードマスクとしてのシリコン酸化膜 5 2 の肩落ちを防止しつつ、有機絶縁膜 5 0 をエッチングすることができる。

#### 【 0 1 0 0 】

次いで、全面に、例えばスパッタ法により、例えば膜厚 1 5 n m の窒化チタン膜を堆積し、窒化チタン膜よりなるバリアメタル層 6 4 を形成する。なお、窒化チタン膜の代わりに、バリアメタルとして機能する他の導電膜、例えば窒化タンタル膜を用いてもよい。

#### 【 0 1 0 1 】

なお、配線層 4 4 が表面に露出した状態で  $\text{NH}_3$  ガス系による有機系絶縁膜のエッチングを行うことは、配線層 4 4 の上面をクリーニングする効果もある。すなわち、このエッチングには、図 1 9 (b) に示す工程においてシリコン窒化膜 4 6、5 4 をエッチングする際に配線層 4 4 上に付着する C F 系のポリマーを除去する効果や銅表面を還元する効果がある。これにより、バリアメタル層 6 4 の膜厚を薄くすることが可能であり、ひいてはコンタクト抵抗の低減を図ることが可能である。

#### 【 0 1 0 2 】

次いで、バリアメタル層 6 4 上に、例えばスパッタ法により、例えば膜厚 1 3 0 n m の銅 (C u) 膜を堆積する。次いで、この銅膜をシードとして電解メッキ法により更に銅膜を堆積し、バリアメタル層 6 4 上に、トータル膜厚が例えば 9 7 0 n m 程度の銅膜 6 6 を形成する。

#### 【 0 1 0 3 】

次いで、例えばCMP法により、シリコン酸化膜52の表面が露出するまで銅膜66及びバリアメタル層64を平坦に除去する。こうして、ビアホール60及び配線溝62に埋め込まれた銅膜66及びバリアメタル層64よりなり、ビアホール60を介して配線層44に電氣的に接続された配線層68を形成する。

## 【0104】

このように、本実施形態によれば、有機絶縁膜を有する半導体装置の製造方法において、有機絶縁膜のエッチングに第1実施形態による有機系絶縁膜のエッチング方法を適用するので、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、有機絶縁膜を垂直に加工することができる。

## 【0105】

また、 $\text{NH}_3$ ガス系を用いたエッチングは、銅を主体とする配線層を腐食したりする等の悪影響を与えないため、有機絶縁膜をエッチングする際に銅配線が表面に露出していても差し支えない。逆に、 $\text{NH}_3$ ガス系を用いたエッチングは配線層の表面をクリーニングする効果があるため、この配線層上に更に配線層を形成する場合、バリアメタル層の膜厚を薄くすることが可能である。これにより、コンタクト抵抗の低減を図ることができる。

## 【0106】

本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

## 【0107】

例えば上記実施形態では、有機系絶縁膜のハードマスクとしてシリコン酸化膜を用いたが、他の絶縁材料を用いることも可能である。例えば、シリコン窒化膜、シリコン窒化酸化膜等を用いてもよい。また、シリコン酸化膜は、不純物を含まない膜であってもよいし、ボロンやリンを含む膜であってもよい。また、第2実施形態において、シリコン窒化膜の代わりにシリコンカーバイド膜を用いてもよい。なお、本明細書においては、有機系絶縁膜に対比する語として、これら絶縁膜を無機系絶縁膜とも表現する。

## 【0108】

また、上記実施形態では、一の有機系絶縁膜をエッチングする場合について示したが、異なる二以上の有機系絶縁膜が積層されている場合であっても、本発明

による有機系絶縁膜のエッチング方法を適用することができる。例えば、FLARE膜上にSiLK膜が形成されている層間絶縁膜構造、SiLK膜上にFLARE膜が形成されている層間絶縁膜構造等においても、本発明を適用することができる。

【0109】

また、上記第2実施形態では、銅を主体とする配線層が2層である場合を示したが、配線層68上に更に一層又は多層の配線層を形成するようにしてもよい。また、配線層44の下層に一層又は多層の配線層を形成するようにしてもよい。

【0110】

以上詳述した通り、本発明の特徴をまとめると以下の通りとなる。

【0111】

(付記1) 有機系絶縁膜を有する被処理物が載置された第1の電極に第1の周波数を有する第1の高周波電力を印加し、前記第1の電極に対向する第2の電極に前記第1の周波数とは異なる第2の周波数を有する第2の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法であって、

前記第1の電極に印加される電圧の $V_{pp}$ 値が500V以下になるように、前記第1の高周波電力及び前記第2の高周波電力を制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【0112】

(付記2) 付記1記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、前記プラズマが生成されるプラズマ処理室の圧力を、100mTorr以下に制御する

ことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【0113】

(付記3) 付記1又は2記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、 $\text{NH}_3$ ガスの流量を50sccm以下に制御することを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【0114】

(付記 4) 付記 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記有機系絶縁膜の断面加工形状を、前記第 2 の高周波電力により制御することを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【 0 1 1 5 】

(付記 5) 付記 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{dc}$  値と前記  $V_{pp}$  値との和が 500 V 以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御することを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【 0 1 1 6 】

(付記 6) 付記 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記  $V_{pp}$  値又は前記  $V_{dc}$  値と前記  $V_{pp}$  値との和が 500 V 以下になるように、前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間隔を更に制御することを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【 0 1 1 7 】

(付記 7) 付記 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記第 2 の高周波電力は、前記第 1 の高周波電力よりも大きいことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【 0 1 1 8 】

(付記 8) 付記 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の有機系絶縁膜のエッチング方法において、

前記第 2 の周波数は、前記第 1 の周波数よりも大きいことを特徴とする有機系絶縁膜のエッチング方法。

【 0 1 1 9 】

(付記 9) 基板上に、有機系絶縁膜と無機系絶縁膜とを順次形成する工程と

前記無機系絶縁膜をパターニングする工程と、

パターニングした前記無機系絶縁膜をマスクとして前記有機系絶縁膜をエッチングする工程とを有し、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記半導体基板を載置する第 1 の電極に第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を印加し、前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極に前記第 1 の周波数とは異なる第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して前記有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法を用い、前記第 1 の電極に印加される電圧の  $V_{pp}$  値が 500 V 以下になるように、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0120】

(付記 10) 付記 9 記載の半導体装置の製造方法において、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記プラズマが生成されるプラズマ処理室の圧力を、100 mTorr 以下に制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0121】

(付記 11) 付記 9 又は 10 記載の半導体装置の製造方法において、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、 $\text{NH}_3$ ガスの流量を 50 sccm 以下に制御する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0122】

(付記 12) 付記 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法において、

前記基板は、表面側に銅を主体とする第 1 の配線層を有しており、

前記有機系絶縁膜をエッチングする工程では、前記第 1 の配線層が露出した状態で前記有機系絶縁膜をエッチングする

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0123】

(付記 1 3) 付記 1 0 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法において、

前記無機系絶縁膜をエッチングする工程の後に、前記無機系絶縁膜及び前記有機系絶縁膜に埋め込まれた第 2 の配線層を形成する工程を更に有する

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【 0 1 2 4 】

(付記 1 4) 付記 9 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法において、

前記有機系絶縁膜は、異なる二以上の有機系絶縁材料を含む積層構造を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【 0 1 2 5 】

【発明の効果】

以上の通り、本発明によれば、 $\text{NH}_3$ ガス系を用いた平行平板型二周波励起エッチング装置における有機系絶縁膜のエッチングにおいて、 $V_{pp}$ 電圧を 5 0 0 V 以下に、 $\text{NH}_3$ 流量を 5 0 s c c m 以下に、プラズマ処理室内の圧力を 1 0 0 m T o r r 以下に、それぞれ設定するので、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、有機絶縁材料を垂直に加工することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

平行平板型二周波励起エッチング装置の構造を示す概略図である。

【図 2】

検討に用いた試料の構造を示す概略断面図である。

【図 3】

ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量のエッチングガス依存性を示すグラフである。

【図 4】

$\text{NH}_3$ ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフである。

【図 5】

$N_2/H_2$ ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフである。

【図 6】

$NH_3$ プラズマの発光分析結果を示すグラフである。

【図 7】

$N_2/H_2$ プラズマの発光分析結果を示すグラフである。

【図 8】

エッチングレートとプラズマ処理室内の圧力との関係を示すグラフである。

【図 9】

エッチングレート、面内均一性及び  $V_{pp}$  電圧の  $NH_3$  流量依存性を示すグラフである。

【図 10】

$V_{pp}$  電圧の印加電力依存性を示すグラフである。

【図 11】

$V_{pp}$  電圧の電極間隔依存性を示すグラフである。

【図 12】

ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量の  $V_{pp}$  電圧依存性を示すグラフである。

【図 13】

本発明の第 1 実施形態による有機系絶縁膜のエッチング方法における  $NH_3$  プラズマの発光分析結果を示すグラフである。

【図 14】

エッチングレート、面内均一性及び  $V_{pp}$  電圧の上部電極に印加する電力依存性を示すグラフである。

【図 15】

上部電極に印加する電力の断面加工形状への影響を示す図である。

【図 16】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 1）である。



【図 1 7】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 2）である。

【図 1 8】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 3）である。

【図 1 9】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 4）である。

【図 2 0】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 5）である。

【図 2 1】

ハードマスクの肩落ち及びボーイングを示す図である。

【符号の説明】

1 0 … プラズマ処理室

1 2 … 下部電極

1 4 … 上部電極

1 6, 2 2 … 高周波電源

1 8 … 低周波フィルタ

2 0 … ウェーハ

2 4 … 高周波フィルタ

2 6 … ガス導入配管

2 8 … 排気配管

3 0 … 下地基板

3 2, 3 6, 4 8, 5 2 … シリコン酸化膜

3 4, 5 0 … 有機絶縁膜

3 8, 6 2 … 配線溝

4 0, 6 4 … バリアメタル層

4 2 , 6 6 …銅膜

4 4 , 6 8 …配線層

4 6 , 5 4 …シリコン窒化膜

5 6 …B A R C 膜

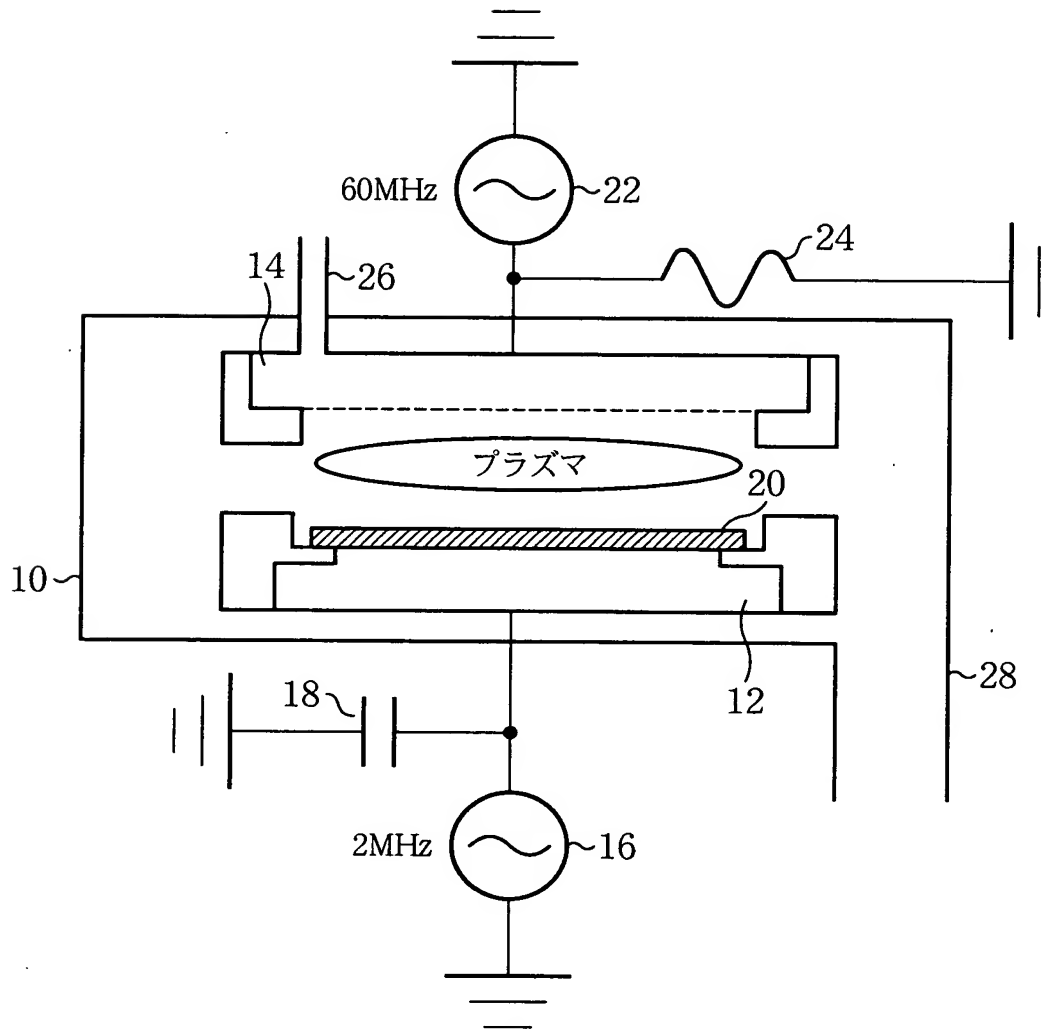
5 8 …フォトレジスト膜

6 0 …ビアホール

【書類名】 図面

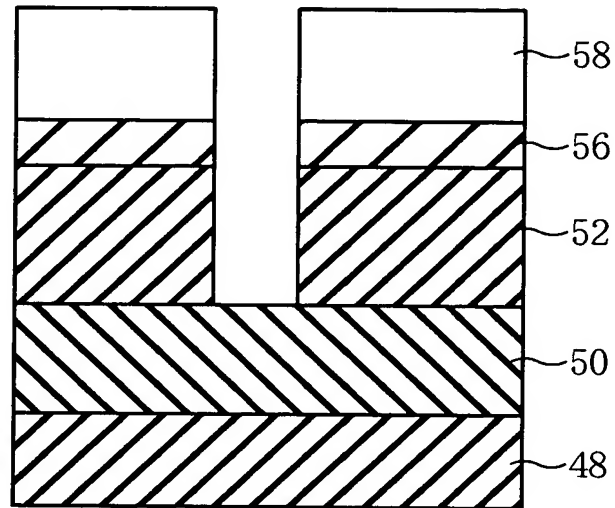
【図 1】

平行平板型二周波励起エッチング装置の構造を示す概略図



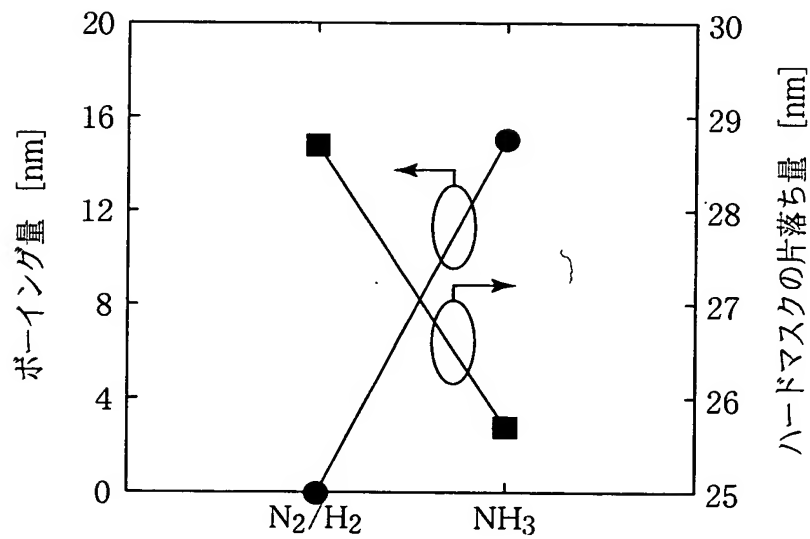
【図 2】

検討に用いた試料の構造を示す概略断面図



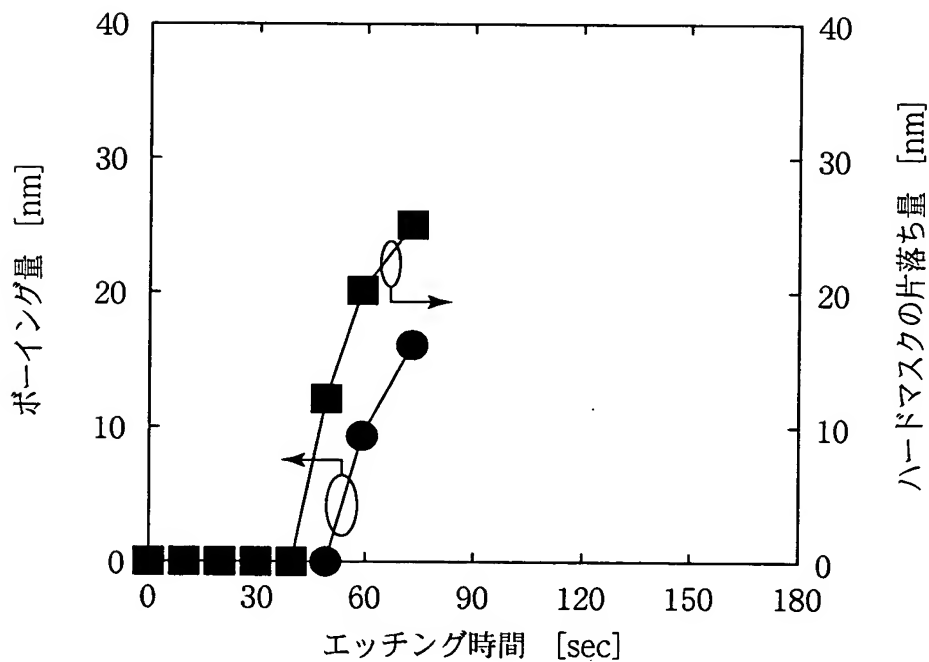
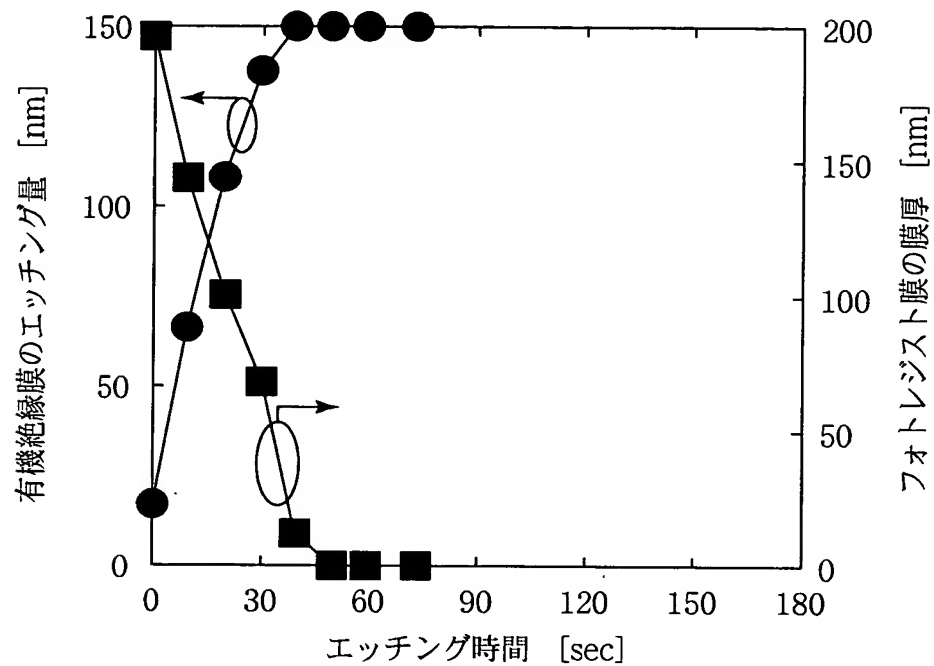
【図 3】

ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量の  
エッチングガス依存性を示すグラフ



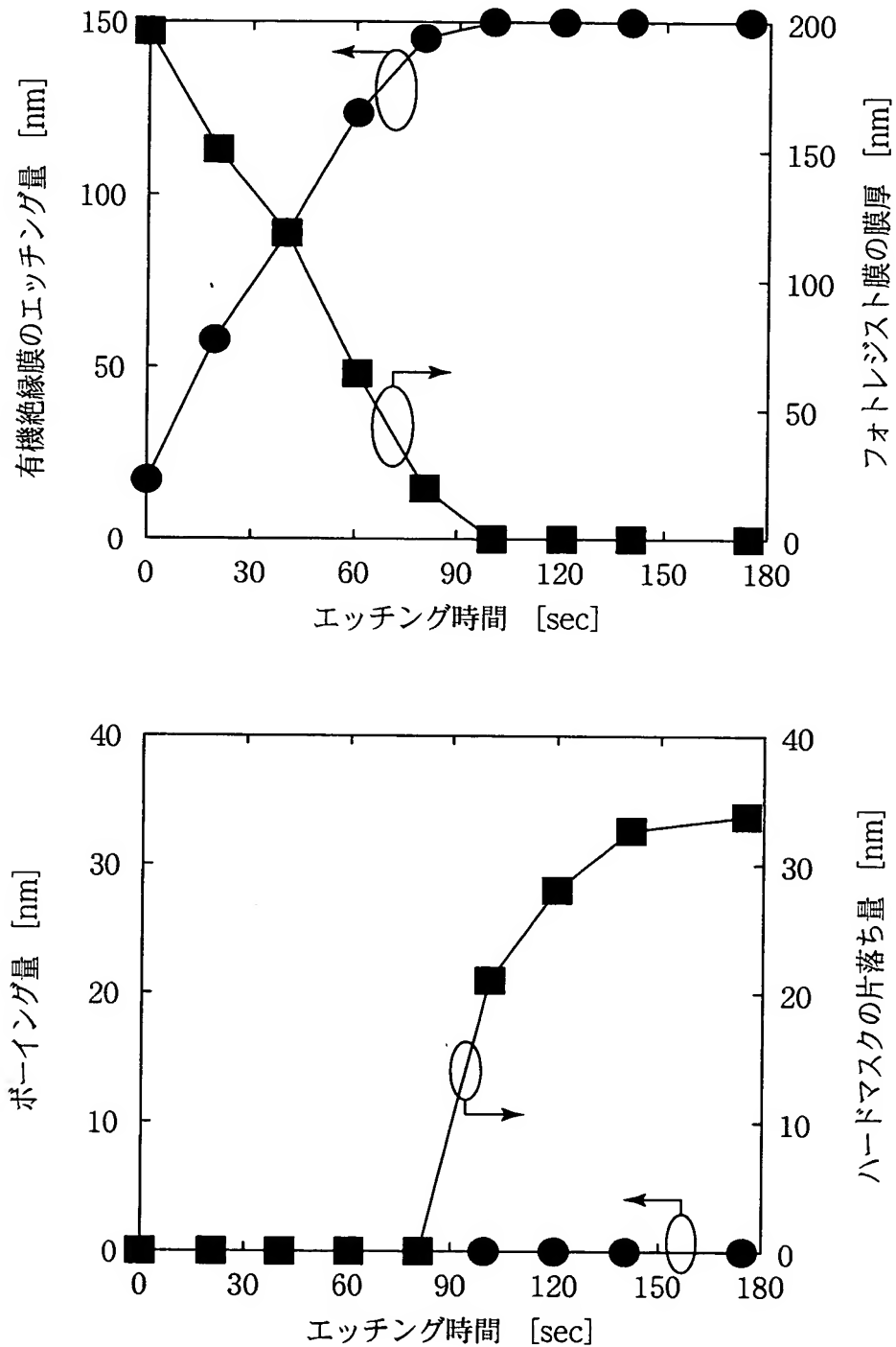
【図4】

NH<sub>3</sub>ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフ



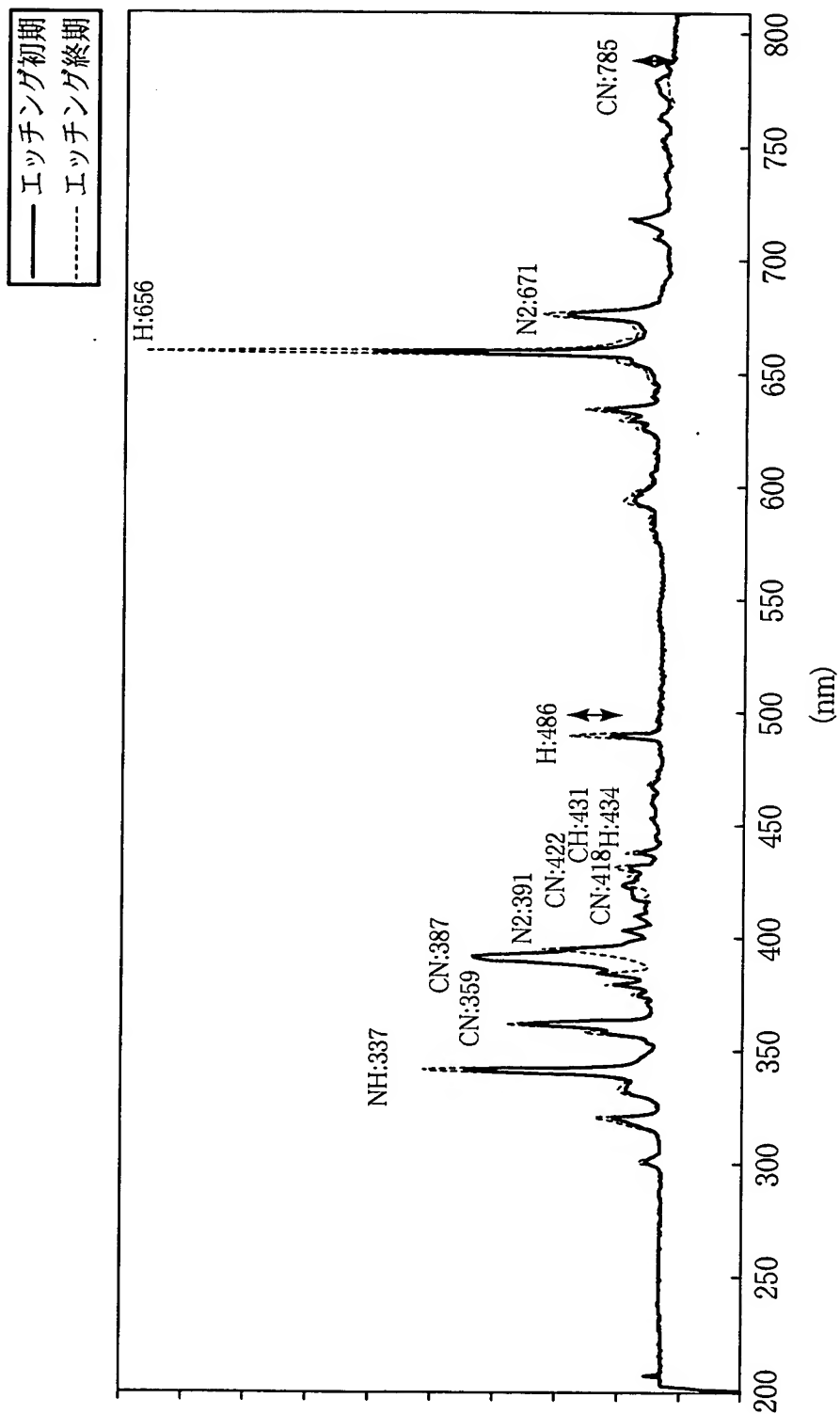
【図5】

$N_2/H_2$ ガス系を用いた場合における種々のパラメータのエッチング時間依存性を示すグラフ



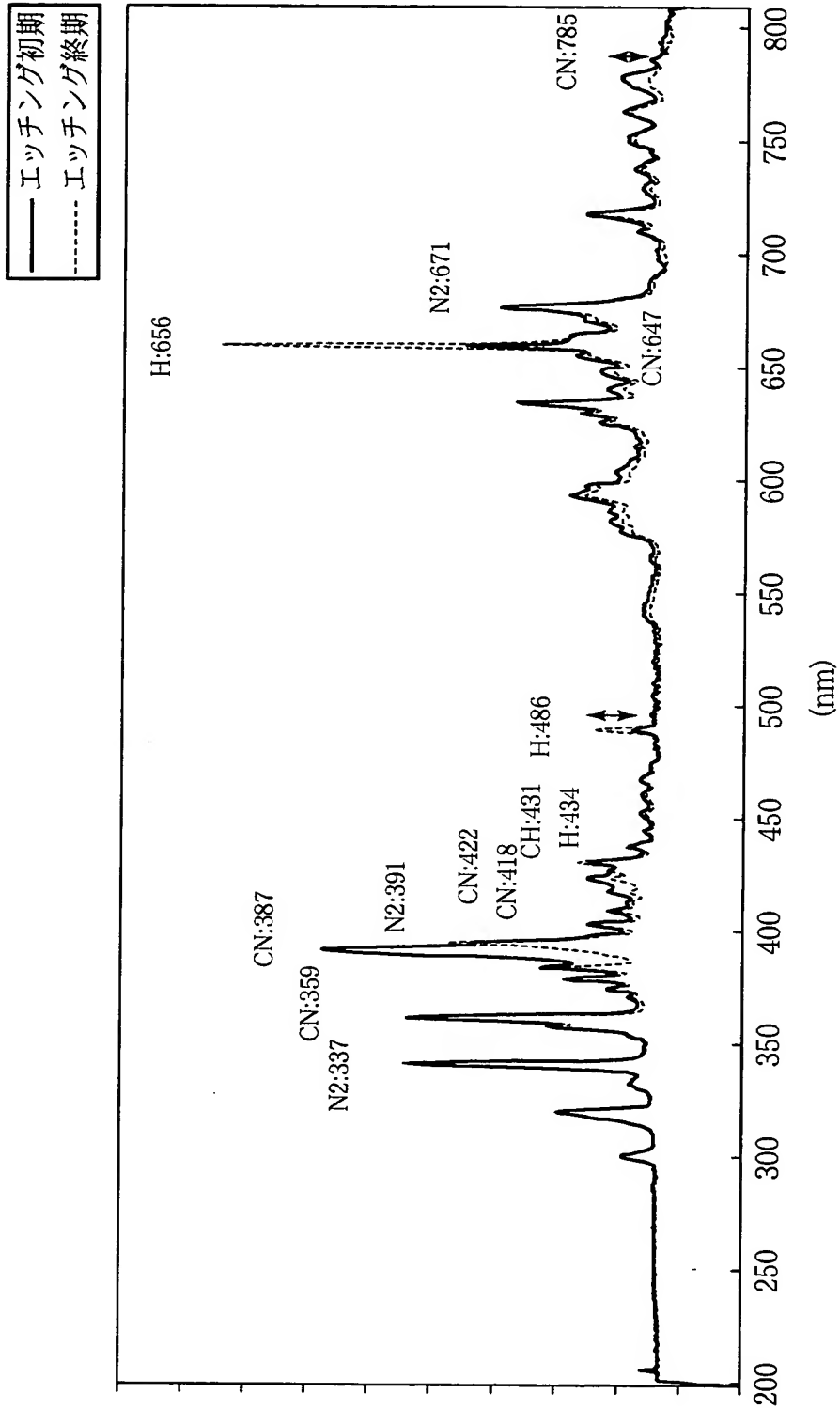
【図 6】

NH<sub>3</sub>プラズマの発光分析結果を示すグラフ



【図 7】

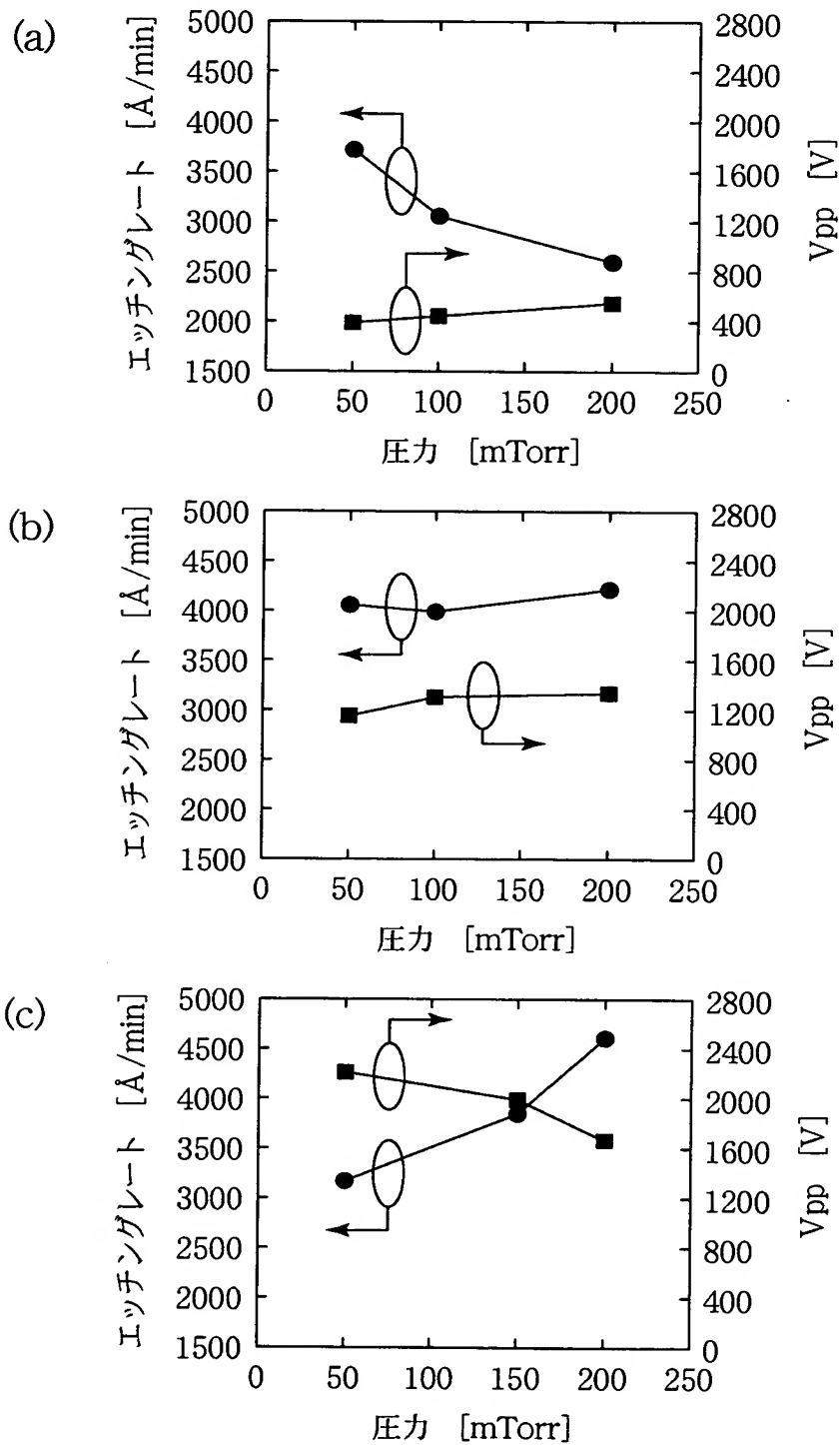
N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>プラズマの発光分析結果を示すグラフ





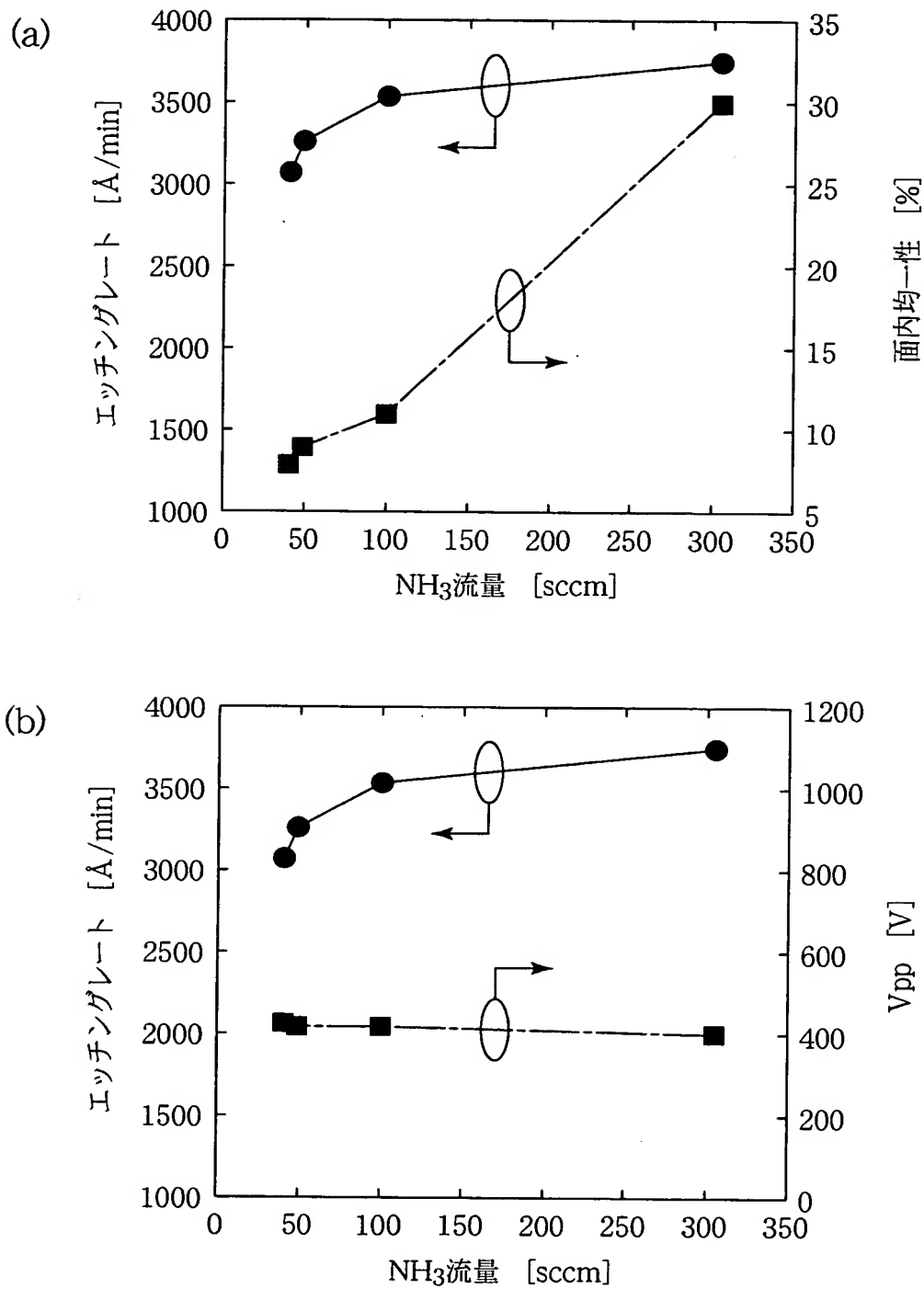
【図 8】

エッチングレートとプラズマ処理室内の圧力との関係を示すグラフ



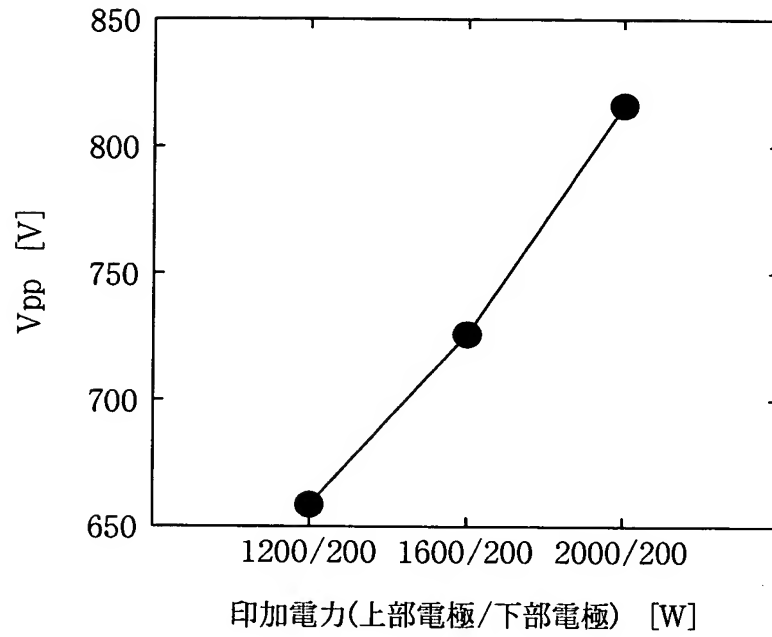
【図9】

エッチングレート、面内均一性及びV<sub>pp</sub>電圧の  
NH<sub>3</sub>流量依存性を示すグラフ



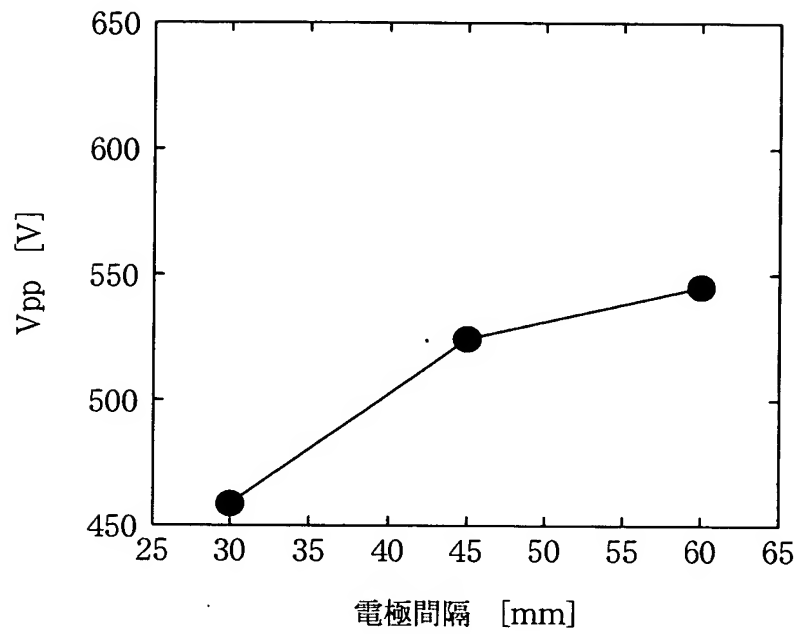
【図 1 0】

Vpp電圧の印加電力依存性を示すグラフ



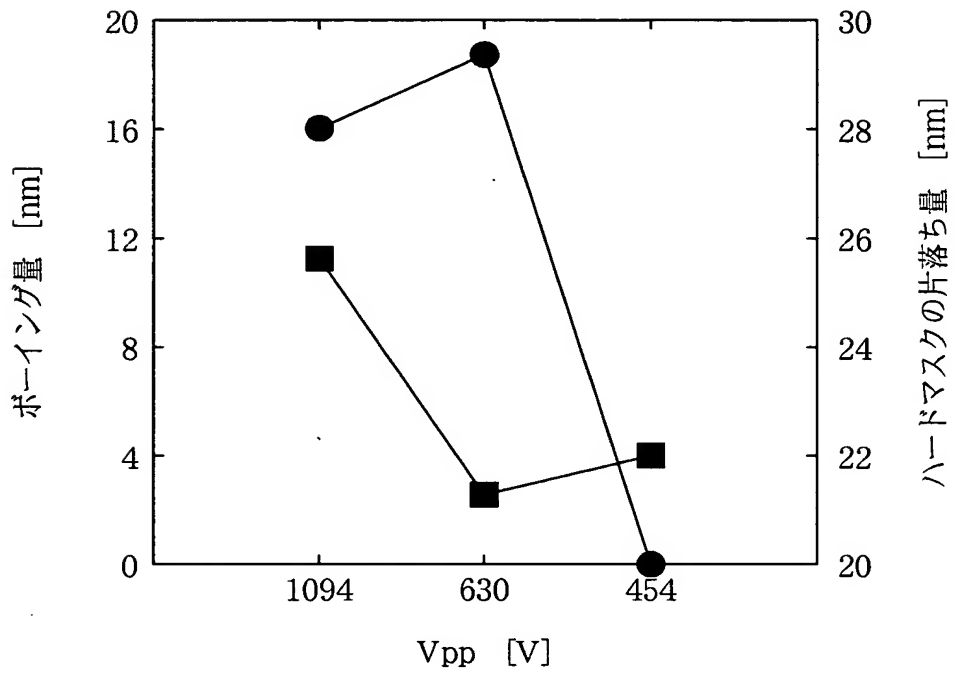
【図 1 1】

V<sub>pp</sub>電圧の電極間隔依存性を示すグラフ



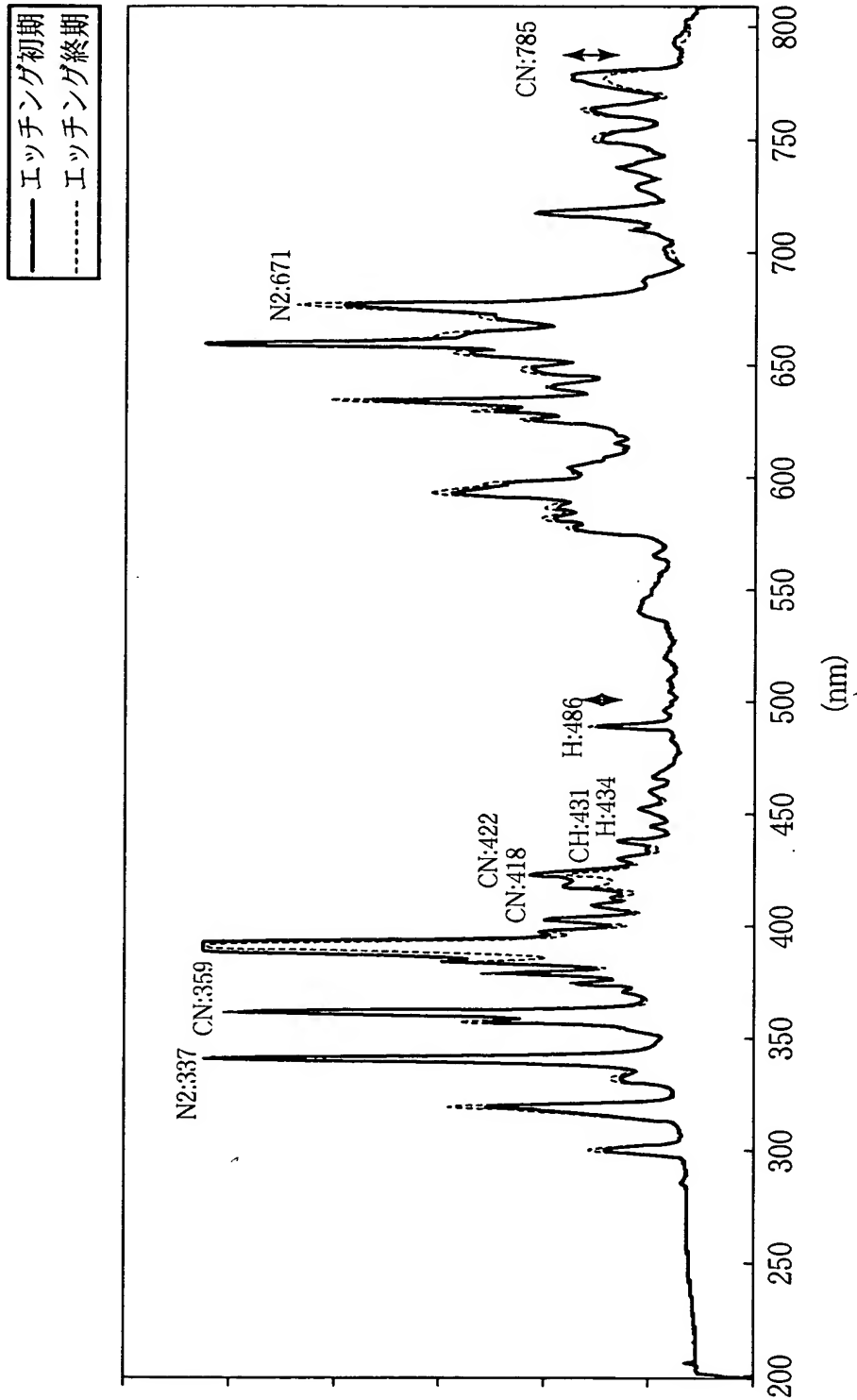
【図 1 2】

ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量の  
Vpp電圧依存性を示すグラフ



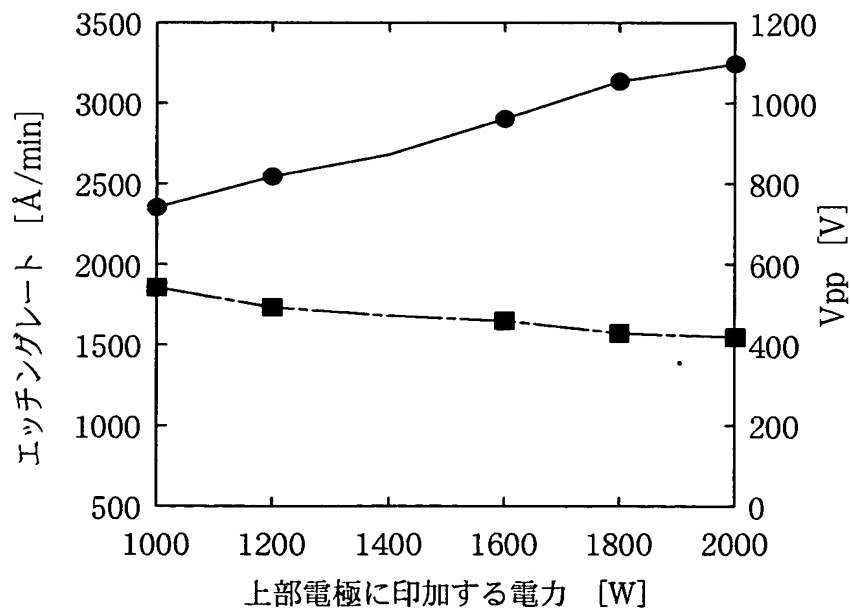
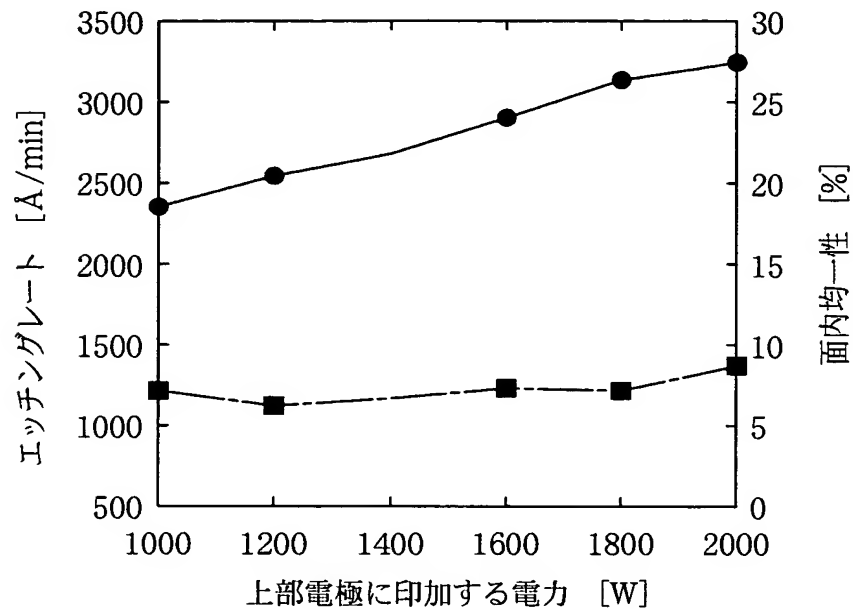
【図 13】

本発明の第1実施形態による有機絶縁膜のエッチング方法における  
NH<sub>3</sub>プラズマの発光分析結果を示すグラフ



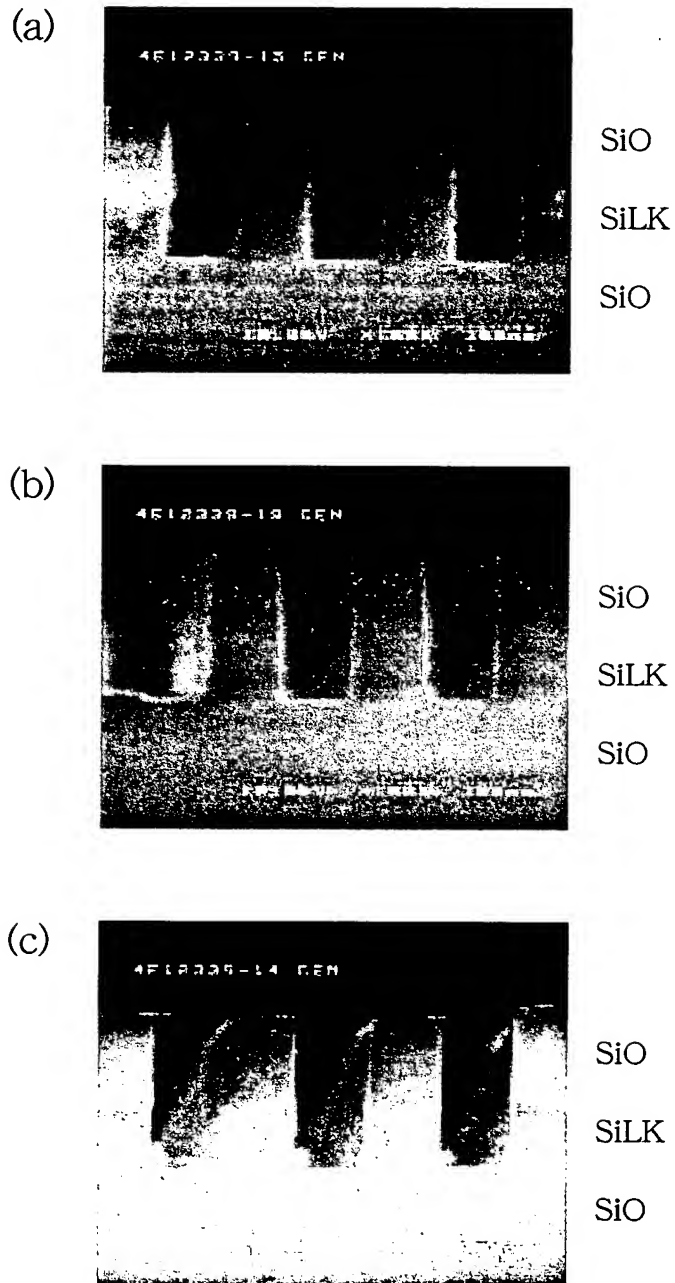
【図 1 4】

エッチングレート、面内均一性及びVpp電圧の  
上部電極に印加する電力依存性を示すグラフ



【図 1 5】

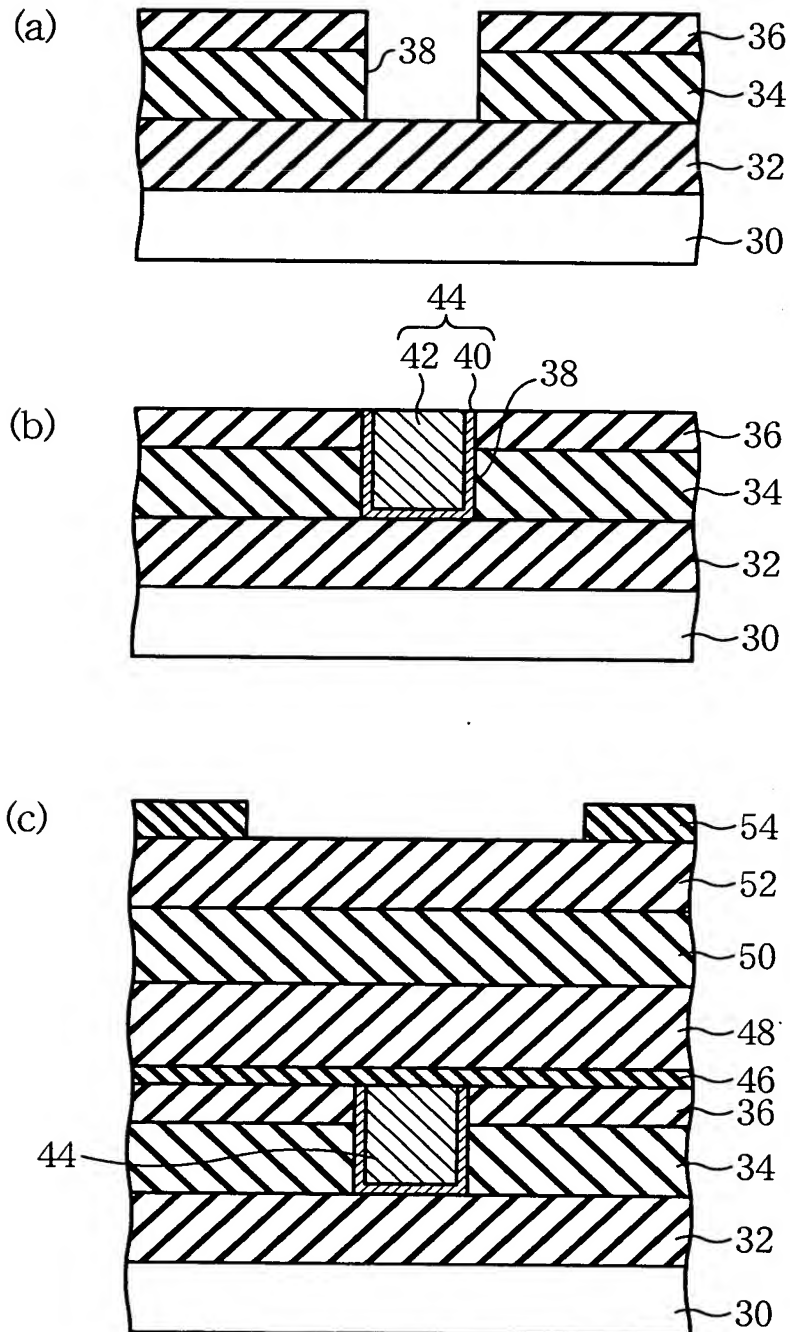
上部電極に印加する電力の断面加工形状への影響を示す図





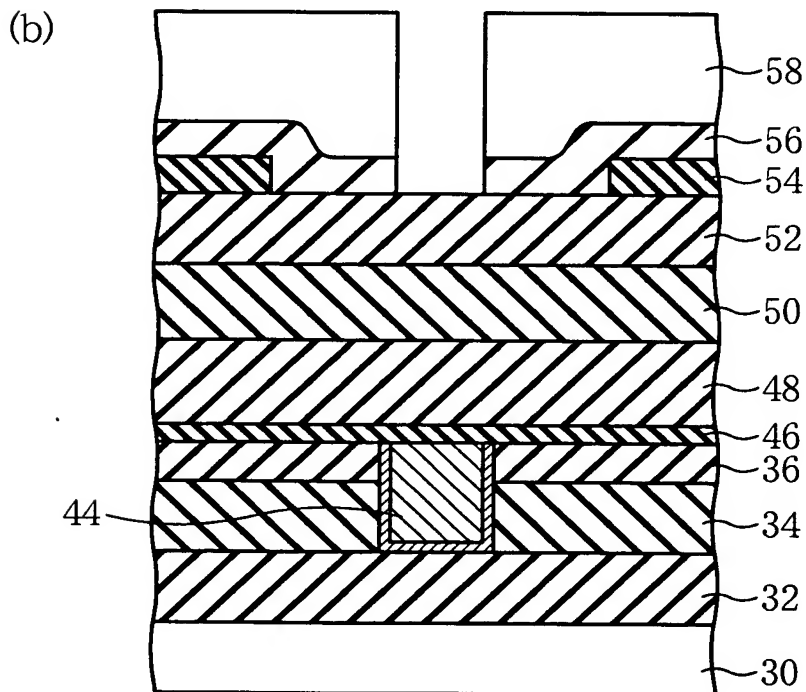
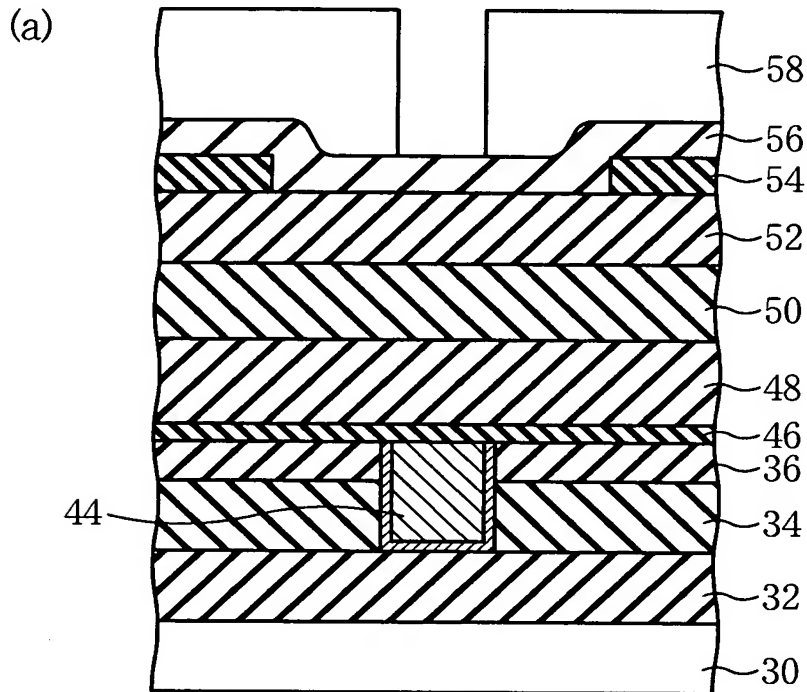
【図 1 6】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図（その1）



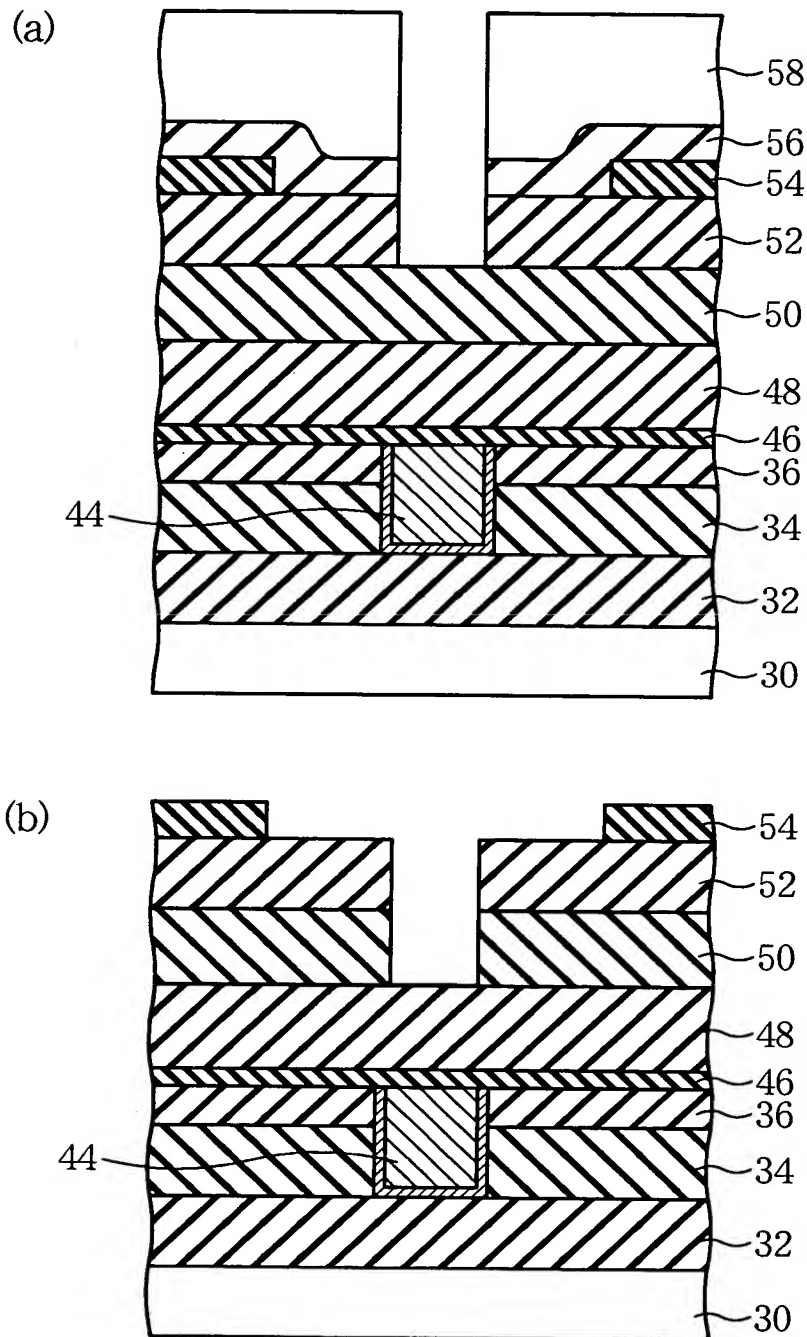
【図 1 7】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図（その2）



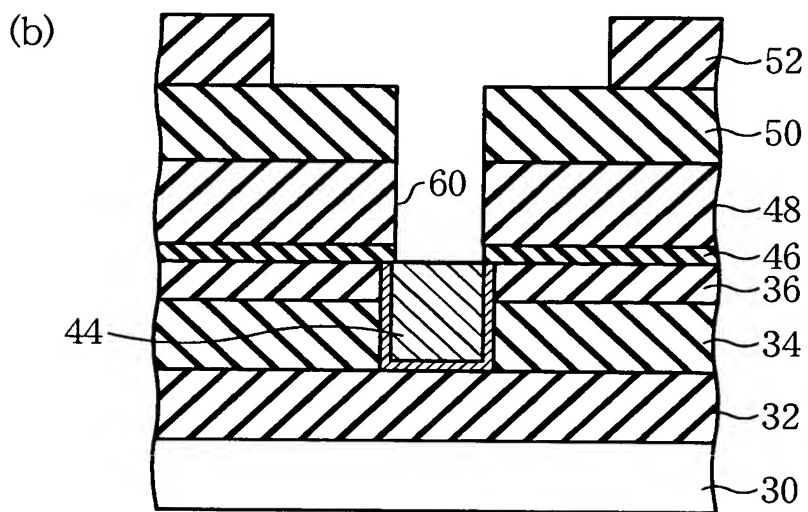
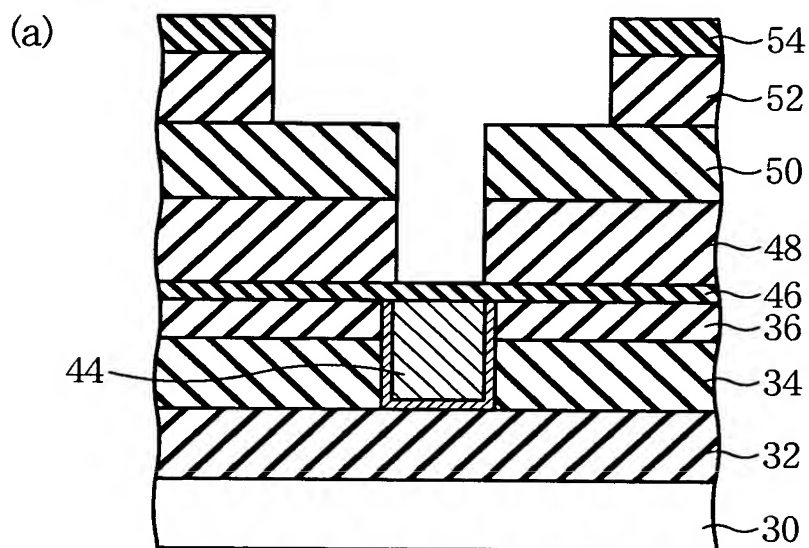
【図 1 8】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図（その3）



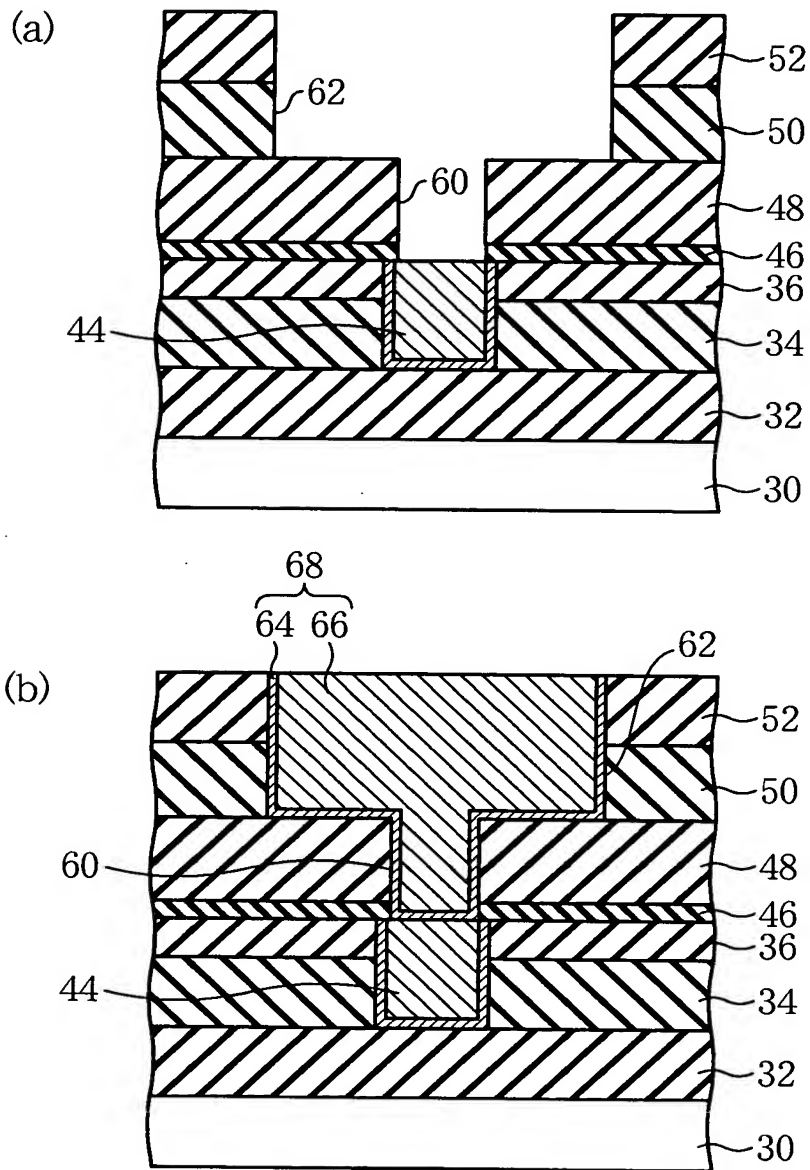
【図 1 9】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図（その4）



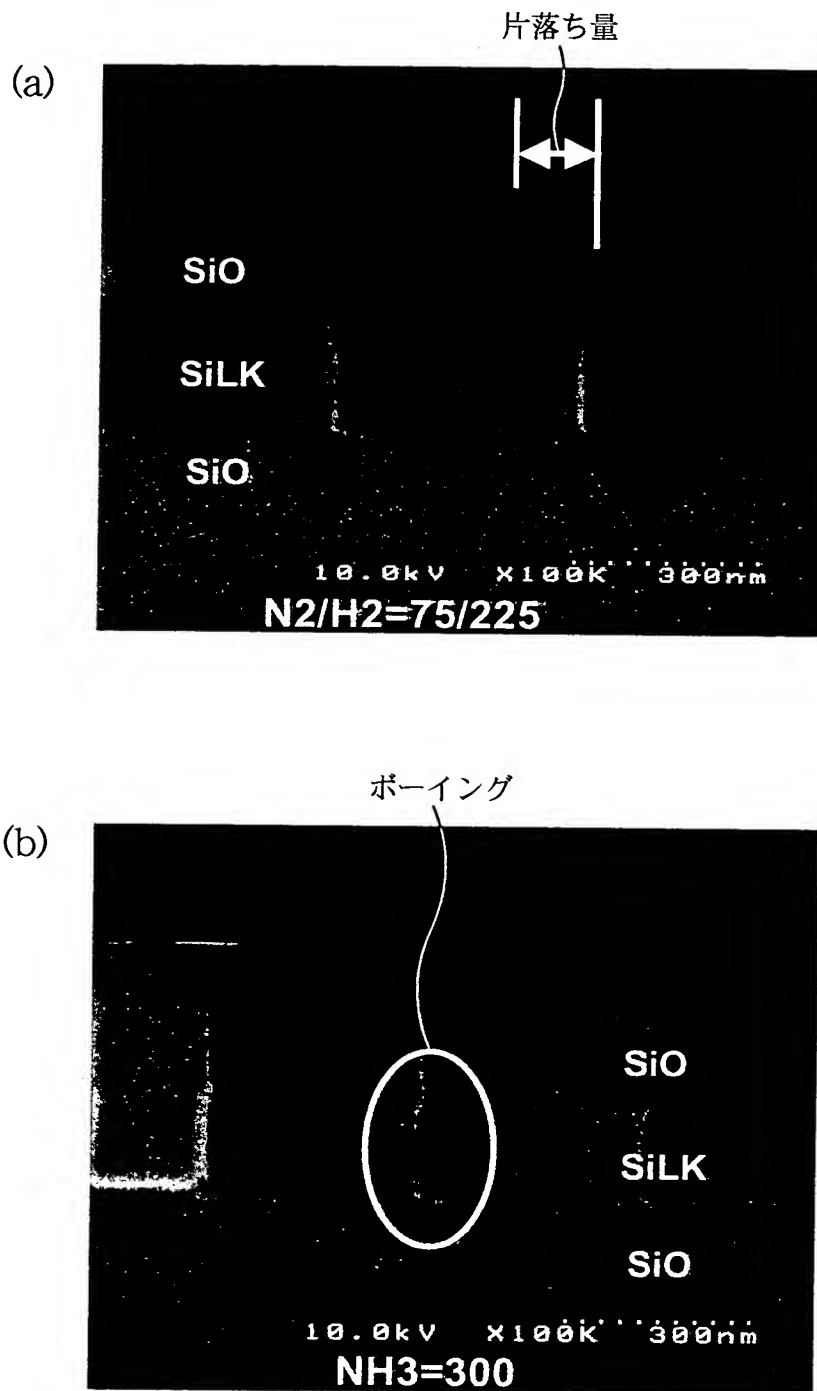
【図 2 0】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図（その5）



【図 21】

ハードマスクの肩落ち及びボーイングを示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ボーイングが少ない垂直加工形状を形成しうるとともにハードマスクの肩落ちが少ない有機系絶縁膜のエッチング方法及びこのエッチング方法を用いた半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 有機系絶縁膜を有する被処理物が載置された電極 1 2 に第 1 の高周波電力を印加し、電極 1 2 に対向する電極 1 4 に第 2 の高周波電力を印加することにより、 $\text{NH}_3$ を含むガスのプラズマを生成して有機系絶縁膜をエッチングする有機系絶縁膜のエッチング方法において、電極 1 2 に印加される電圧の  $V_p$  値が 5 0 0 V 以下になるように、第 1 の高周波電力及び第 2 の高周波電力を制御する。これにより、ボーイング量及びハードマスクの肩落ち量を低減しつつ、有機絶縁膜を垂直に加工することができる。

【選択図】 図 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社